



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE COMPUTACIÓN

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MEDIDOR DE GASES PARA TALLERES
DE SOLDADURA CON PROCESO MIG/TIG USANDO SISTEMAS EMBEBIDOS E**

IoT

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingenieros en Ciencias de la Computación

AUTORES: JORDAN ALEJANDRO CABRERA GUIJARRO

RICHARD VADY MORA VACA

TUTOR: MANUEL RAFAEL JAYA DUCHE

Quito – Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Richard Vady Mora Vaca con documento de identificación N ° 1004466767 y Jordan Alejandro Cabrera Guijarro con documento de identificación N ° 1722690722; manifestamos que: Somos autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Quito, 24 de febrero de 2025

Atentamente,



Richard Vady Mora Vaca

1004466767



Jordan Alejandro Cabrera Guijarro

1722690722

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Richard Vady Mora Vaca con documento de identificación N ° 1004466767 y Jordan Alejandro Cabrera Guijarro con documento de identificación N ° 1722690722; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Diseño e implementación de un medidor de gases para talleres de soldadura con proceso Mig/Tig usando sistemas embebidos e IoT”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros en Ciencias de la Computación, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito. 24 de febrero de 2025

Atentamente,



Richard Vady Mora Vaca

1004466767



Jordan Alejandro Cabrera Guijarro

1722690722

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Manuel Rafael Jaya Duche con documento de identificación N ° 1710631035, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN MEDIDOR DE GASES PARA TALLERES DE SOLDADURA CON PROCESO MIG/TIG USANDO SISTEMAS EMBEBIDOS E IOT, realizado por Richard Vady Mora Vaca con documento de identificación N ° 1004466767 y por Jordan Alejandro Cabrera Guijarro con documento de identificación N ° 1722690722, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 24 de febrero de 2025

Atentamente,



Ing. Manuel Rafael Jaya Duche, MSc.

1710631035

DEDICATORIA

“El éxito no es la clave de la felicidad, la felicidad es la clave del éxito. Si amas lo que haces tendrás éxito” Albert Schweitzer.

Este trabajo está dirigido con mucho aprecio y afecto a mis padres, Vady y Lourdes quienes han sido mis más grandes apoyos en mi vida, ayudándome en el transcurso largo de mi carrera y de mi vida como persona. A mi abuelita y hermana quienes me han ayudado y apoyado con consejos todos los días, a todos ellos por formar parte de ella por su pilar.

Richard Vady Mora Vaca

"La fuerza no viene de la capacidad física, sino de una voluntad indomable." – Mahatma Gandhi

Con gran agradecimiento y cariño, dedico este proyecto a mis padres, Marco y Teresa, quienes con su dedicación incansable y su fe en mí han sido la base de todo lo que he logrado. Su amor, sacrificio y ejemplo de vida me han ensañado que no hay límites cuando se lucha con pasión y determinación. A ustedes, papá y mamá, les debo mi formación como persona y profesional. También dedico este proyecto a mi novia, quien ha sido un pilar importante en estos últimos años, apoyándome con paciencia, amor y palabras de aliento. Su presencia me ha dado fuerza para continuar y superar cualquier obstáculo. Agradezco sus consejos, su apoyo constante, por enseñarme y por demostrarme siempre que los sueños se alcanzan con trabajo y dedicación. Este logro es tano mío como suyo.

Jordan Alejandro Cabrera Guijarro

AGRADECIMIENTO

Quiero empezar dedicando un agradecimiento muy único y especialmente a mi tutor de tesis, Rafael Jaya, quien, con su guía, dedicación y calma he logrado culminar este proyecto técnico. Un profundo reconocimiento a mis profesores quienes, me han instruidos durante toda la carrera, gracias por sus recomendaciones. Por último, a mi amiga Lizbeth quien supo llenar mis días de alegrías, ánimos y apoyo para poder culminar una meta más en mi vida. Muchas gracias.

Richard Vady Mora Vaca

Quiero comenzar con un agradecimiento a mi tutor, Rafael Jaya, quien, con su dirección, dedicación y paciencia, me permitió culminar este proyecto técnico de manera exitosa. Extiendo mi gratitud a mis docentes, quienes, con sus enseñanzas a lo largo de mi carrera, no solo compartieron conocimientos, sino también inspiraron en mí el deseo de crecer profesionalmente. Por último, a mi amigo Vady, quien, con su compañía, alegría y motivación constante, hizo que este camino fuese más llevadero y lleno de momentos inolvidables. Gracias por apoyarme invaluablemente en este escalón tan importante de vida.

Jordan Alejandro Cabrera Guijarro

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO I	1
ANTECEDENTES Y GENERALIDADES	1
1. Introducción	1
1.1 Problema de estudio	2
1.1.1 Antecedentes	3
1.1.2 Importancia.....	3
1.1.3 Delimitación	4
1.2 Justificación.....	5
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo general:	5
1.3.2 Objetivos específicos:.....	6
1.4 Alcance.....	6
1.4.1 Medición de Gases y Partículas	6
1.4.2 Indicadores Esenciales.....	6
1.4.3 Visualización y Registro de Datos	7
CAPÍTULO II	8
MARCO TEÓRICO	8
2. Descripción Teórica.....	8
2.1 Historia y Evolución en la Soldadura MIG y TIG	8
2.2 Introducción a la Soldadura MIG/TIG.....	9
2.3 Soldadura MIG	9
2.4 Soldadura TIG	9
2.5 Comparación y Aplicaciones	10
2.6 Riesgos Asociados a los Humos de Soldadura.....	10
2.7 Gases Emitidos en los Procesos de Soldadura MIG y TIG	11
2.7.1 Emisión de Monóxido de Carbono (CO) en la Soldadura.....	11
2.7.2 Emisión de Dióxido de Carbono (CO ₂) en la Soldadura	12
2.8 Efectos sobre la salud y el entorno natural.....	14
2.9 DESKTOP-94JME4O	14
2.10 ESP32.....	14
2.11 Protoboard	15
2.12 MQ-135	16
2.13 MQ-9.....	17
2.13.1 Características principales:	17

2.13.2 Aplicaciones:	18
2.14 Cargador 5V Punta Gruesa	18
2.15 Indicadores y alarma.....	19
2.16 Conexiones y otros componentes.....	21
2.17 Plataforma de desarrollo	21
2.18 Firebase	22
2.19 R Studio.....	23
CAPÍTULO III	25
METODOLOGÍA	25
3. Metodología ajustada al proyecto	25
3.1 Diseño del sistema	26
3.1.1 Diagrama de Operación	27
3.1.2 Estudio y operación del sistema.....	27
3.1.3 Desarrollo e implementación de los componentes	28
3.2 Generación del conjunto de datos	30
3.2.1 Medidas de tendencia central.....	30
3.2.3 Programación de los dispositivos.....	30
3.3 Conexión WIFI.....	32
3.4 Conexión con Firebase	33
3.4.1 Datos Monóxido de Carbono Generados	34
3.4.2 Datos Dióxido de Carbono Generados.....	35
CAPÍTULO IV	39
PRUEBAS Y RESULTADOS	39
4. Métricas y Resultados del Circuito de toma de gases	39
4.1 Pruebas	39
4.2 Entorno de pruebas	39
4.3 Procedimientos de las pruebas	44
4.3.3 Validación de alertas visuales y sonoras	45
4.3.4 Prueba de almacenamiento de datos	46
4.4 Resultados	47
4.5 Análisis de resultados	51
4.5.1 Indicadores de tendencia central y dispersión.....	52
CONCLUSIONES	56
RECOMENDACIONES	58

REFERENCIAS 59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Detalles del Ordenador	14
Tabla 2 Características ESP32	29
Tabla 3 Características Sensor MQ-135.....	29
Tabla 4 Características Sensor MQ-9.....	30
Tabla 5 Datos generados sin aplicación de soldadura.....	50
Tabla 6 Datos generados con aplicación de soldadura.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del taller de soldadura	4
Figura 2 Esquema de formación de CO durante la soldadura MIG	12
Figura 3 Proceso de emisión de CO ₂ en soldadura TIG	13
Figura 4 Diagrama de pines de microcontrolador Wi-Fi y Bluetooth.....	15
Figura 5 Distribución de contactos en una protoboard	16
Figura 6 Distribución de pines del sensor MQ-135	17
Figura 7 Distribución de pines del sensor MQ-9	18
Figura 8 Cargador de 5V 2A.....	19
Figura 9 Displays LED.....	20
Figura 10 Buzzer Zumbador 5V Activo.....	20
Figura 11 Sistema de colores para resistencias de 4 bandas	21
Figura 12 Interfaz Arduino IDE.....	22
Figura 13 Arquitectura de Firebase Fundamentals	23
Figura 14 Interfaz de R Studio	24
Figura 15 Metodología Sprint	25
Figura 16 Flujograma sistema de sensores.....	26
Figura 17 Diseño e implementación del circuito	27
Figura 18 Asignación de los dispositivos a los puertos	31
Figura 19 Asignación de los umbrales para los sensores	31
Figura 20 Asignación de las credenciales de conexión.....	32
Figura 21 Código para la conexión WIFI.....	33
Figura 22 Código para la conexión Firebase.....	33
Figura 23 Datos prueba de conexión con firebase	34
Figura 24 Toma de datos monóxido de carbono	34

Figura 25 Datos de monóxido de carbono en Firebase	35
Figura 26 Tanques de CO2	36
Figura 27 Toma de datos dióxido de carbono	37
Figura 28 Datos de dióxido de carbono en Firebase	38
Figura 29 Entorno de trabajo para soldar	39
Figura 30 Pieza de automóvil a soldar	40
Figura 31 Limpieza de pieza a soldar.....	41
Figura 32 Elementos para el proceso de soldadura	42
Figura 33 Pieza de automóvil ya soldada.....	43
Figura 34 Soldadura de pieza de automóvil	45
Figura 35 Prueba de LED y buzzer	46
Figura 36 Almacenamiento de datos en Firebase.....	47
Figura 37 Toma de datos en el tanque de gas CO2 para soldar	49
Figura 38 Resultado total obtenido de RStudio	51
Figura 39 Resultado individual obtenido de RStudio	51
Figura 40 Resultado medidas de tendencia central y dispersión totales obtenido de RStudio	52
Figura 41 Gráfico de indicadores de tendencia central y dispersión.....	53
Figura 42 Resultado medidas de tendencia central y dispersión sensor MQ-135 obtenido de RStudio.....	53
Figura 43 Gráfico de indicadores de tendencia central y dispersión.....	54
Figura 44 Resultado medidas de tendencia central y dispersión sensor MQ-9 obtenido de RStudio.....	54
Figura 45 Gráfico de medidas de tendencia central y dispersión.....	55

RESUMEN

El proyecto técnico se especializa en el diseño e implementación de un sistema de medición de gases en talleres de soldadura MIG/TIG, utilizando tecnología de sistemas embebidos e IOT. El punto principal es desarrollar un sistema que pueda detectar los niveles de gases peligrosos dentro de un taller de soldadura, como el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO₂), mediante el uso de sensores MQ-9 y MQ-135, los cuales son integrados al SoC ESP32. Los datos obtenidos posteriormente son enviados a la plataforma de Firebase para su almacenamiento y visualización. La solución presentada busca ofrecer monitorización de los ambientes de soldadura garantizando un trabajo seguro y eficiente.

Este proyecto tiene un enfoque práctico, adecuado para talleres de soldadura, los datos de las características de querencia central y dispersión demostraron que el sistema es capaz de evaluar con una eficiencia del 0.95% los rangos de CO y CO₂, brindando seguridad en los talleres de soldadura MIG/TIG.

Palabras clave: sistema medición de gases, medidas de tendencia central, seguridad, eficiencia.

ABSTRACT

The technical project specializes in the design and implementation of a gas measurement system in MIG/TIG welding workshops, using embedded systems and IOT technology. The main point is to develop a system that can detect the levels of hazardous gases within a welding shop, such as carbon monoxide (CO) and carbon dioxide (CO₂), by using MQ-9 and MQ-135 sensors, which are integrated into the ESP32 SoC. The data obtained is subsequently sent to the Firebase platform for storage and visualization. The solution presented seeks to offer monitoring of welding environments, guaranteeing safe and efficient work.

This project has a practical approach, suitable for welding workshops, the data of the central drift and dispersion characteristics demonstrated that the system is capable of evaluating the CO and CO₂ ranges with an efficiency of 0.95%, providing security in welding workshops. MIG/TIG welding.

Keywords: gas measurement system, central tendency measures, safety, efficiency.

CAPITULO I

ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1. Introducción

Los procesos de soldadura MIG (Metal Inert Gas) y TIG (Tungsten Inert Gas) son fases utilizadas diariamente en la industria en virtud de su suficiencia de elaborar uniones metálicas de alta calidad. Sin embargo, su uso produce gases tóxicos como el monóxido de carbono (CO) y otros compuestos altamente peligrosos que suponen un peligro para la salud de los empleados.

En la actualidad, la medición y monitorización de gases en estos entornos se realizan utilizando dispositivos expertos que, en la mayor parte de los casos son muy costosos y de difícil acceso para talleres pequeños. Ante esta problemática, surge la necesidad de diseñar dispositivos que faciliten el acceso y monitorización de los niveles de gases, contribuyendo así a la seguridad en el entorno laboral.

El trabajo tiene como punto principal desarrollar un sistema de medición de gases para talleres de soldadura MIG/TIG utilizando sistemas embebidos e IOT. Integrando consigo sensores MQ-7 y MQ-135, microcontrolador ESP32, permitiendo la captura de datos y el almacenamiento de estos en Firebase que es una plataforma de IoT.

La implementación de este sistema tiene como finalidad optimizar la seguridad en talleres de soldadura, ofreciendo una alternativa económica sencilla que permita identificar los niveles de gases tóxicos y actuar oportunamente ante algún riesgo.

1.1 Problema de estudio

En los talleres de soldadura, especialmente aquellos que utilizan procesos MIG (Metal Inert Gas) y TIG (Tungsten Inert Gas), la exposición a los humos de soldadura simboliza una amenaza significativa en cuanto a la salud de los empleados. Según el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC), en 2017 se publicaron nuevas pruebas científicas que demostraron que la exposición a los humos de soldadura de acero al carbono puede causar cáncer de pulmón y posiblemente cáncer de riñón en los seres humanos (IARC, 2017). Como resultado, el humo de soldadura de acero al carbono ha sido reclasificado en el Reino Unido como cancerígeno para los seres humanos, y es probable que otros países adopten esta clasificación en el futuro (IARC, 2017). Este descubrimiento sugiere que los gases de soldadura deben considerarse altamente cancerígenos, lo que subraya el requerimiento de implementar medidas adecuadas para disminuir los peligros de exposición.

El gas generado durante el camino de soldadura está conformado por partículas sólidas que varían en tamaño desde 10 nanómetros hasta 20 micras, formadas cuando los vapores metálicos se condensan. La mayoría de este humo es respirable y puede penetrar profundamente en los pulmones, causando daños significativos y potencialmente ingresando al torrente sanguíneo (OSHA, 2024). Este riesgo se ve incrementado por el hecho de que la soldadura requiere que el soldador mantenga la cabeza cerca del punto de generación del humo para monitorear la progresión de la soldadura (EPA, 2024).

Adicionalmente, los humos de soldadura no solo representan un riesgo cancerígeno, sino que también pueden provocar otras enfermedades respiratorias crónicas, como bronquitis, asma y enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (EPOC) (AIHA, 2024). Estos riesgos se ven agravados en ambientes de trabajo donde la ventilación es insuficiente y las medidas de protección personal no se utilizan de manera adecuada o constante (OSHA, 2024).

El funcionamiento de sistemas de monitorización de gases en los talleres de soldadura podría ofrecer una solución eficaz para mitigar estos riesgos. Estos sistemas, basados en tecnologías de sistemas embebidos e Internet de las Cosas (IoT), permiten la detección y monitorización continuo de los niveles de gases y partículas nocivas en el aire (EPA, 2024). Con el uso de sensores avanzados y conectividad IoT, es posible alertar de inmediato a los trabajadores y supervisores sobre condiciones peligrosas, permitiendo la toma de decisiones rápidas para reducir la exposición y mejorar la seguridad en el lugar de trabajo (AIHA, 2024).

1.1.1 Antecedentes

Los talleres de soldadura MIG/TIG son ampliamente utilizados por la calidad y eficiencia en la unión de materiales metálicos. No obstante, la utilización de estas técnicas tiene como resultado la emanación de humos tóxicos como es el (CO) y (CO₂), que pueden representar un peligro abundante para la salud de los empleados en el caso de que no se tomen controles de seguridad.

Pese a los avances tecnológicos que se obtiene hoy en día no se han logrado desarrollar soluciones oportunas y específicas que se adapten a las necesidades de los talleres de soldadura MIG/TIG. La monitorización de gases en entornos industriales ha cobrado una gran importancia debido a la necesidad de garantizar condiciones laborales seguras, por lo que plantea una oportunidad para diseñar e implementar un sistema que garantice la seguridad de los trabajadores.

1.1.2 Importancia

Este proyecto es importante debido a que propone una solución tecnológica accesible y eficiente para el monitorización y gestión de niveles de gases tóxicos dentro de los talleres de soldadura. Al diseñar e implementar un medidor de gases basado en sistemas embebidos IoT,

se busca no solo garantizar las condiciones de labores más seguros sino también fomentar una mayor conciencia sobre los riesgos asociados a estos procesos industriales.

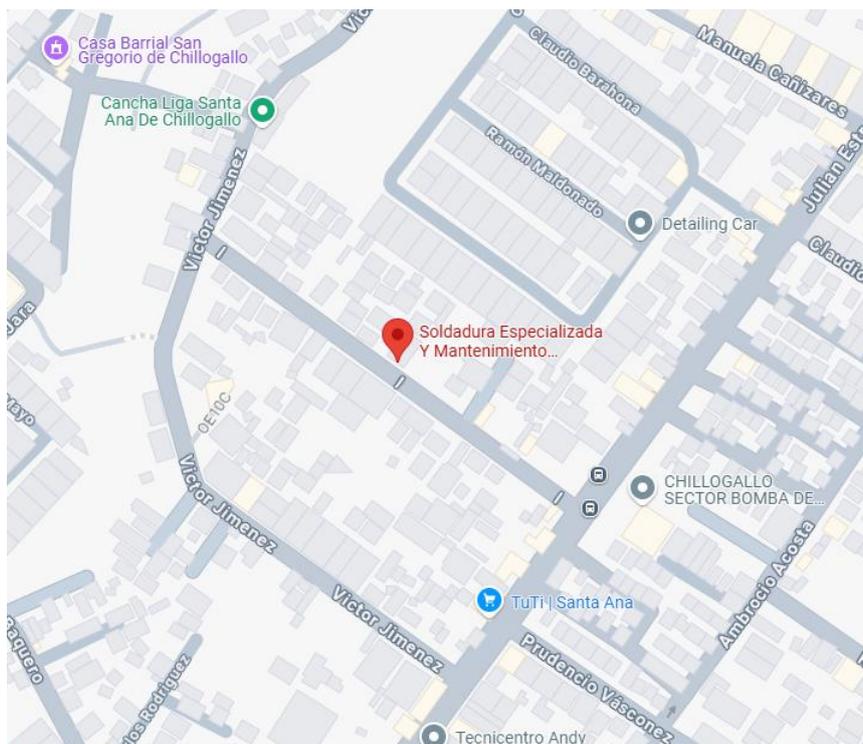
La integración de tecnología IoT permitirá recolectar y analizar los datos obtenidos facilitando la identificación temprana de niveles que conlleven peligro. Esto no solo beneficiará a los operarios al reducir el riesgo de algún peligro, sino que también permitirá a los dueños de talleres cumplir con las normativas ambientales y de seguridad.

1.1.3 Delimitación

El taller de Soldadura Especializada y Mantenimiento Industrial Carrillo tiene un total de 3 trabajadores que laboran en el taller. Se encuentra localizado en la dirección detallada a continuación: PC9Q+86H, I, Quito 170105. En este taller se prueba el circuito elaborado, con el objetivo de recopilar datos y comprobar su funcionamiento.

Figura 1

Ubicación del taller de soldadura



Nota. Ubicación del taller de soldadura especializada Carrillo. Fuente: Google Maps (2025)

1.2 Justificación

La exposición a los humos de soldadura representa una amenaza abundante en cuanto respecta la salud de los soldadores, con evidencias claras de que puede contraer cáncer de pulmón y, muy probable, cáncer de riñón. Esta problemática se ve agravada por la alta concentración de partículas respirables que se generan durante los procesos de soldadura MIG y TIG, las cuales pueden penetrar profundamente en el sistema respiratorio, causando daños graves y permanentes.

El desarrollo de un sistema de monitorización basado en tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) ofrecerá una solución innovadora y eficaz para abordar este problema. Este sistema permitirá una vigilancia continua y precisa de los escalones de contaminantes en el aire, específicamente aquellos producidos durante los procesos de soldadura. Al detectar y medir estos contaminantes en tiempo real, se podrá alertar de inmediato a los trabajadores y supervisores sobre la presencia de niveles peligrosos de gases y partículas.

Esta vigilancia constante no solo facilitará la implementación de medidas preventivas y correctivas inmediatas, sino que también sustentará a la construcción de un entorno de trabajo más sano a largo plazo. Los datos recopilados por el sistema podrán ser utilizados para analizar patrones de exposición y desarrollar estrategias de mitigación más efectivas. Además, el uso de tecnología IoT permitirá la integración del sistema de monitorización con otros métodos de gestión de seguridad en el taller de soldadura, optimizando la respuesta a situaciones de riesgo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general:

- Diseñar e implementar un medidor de gases para talleres de soldadura con procesos MIG/TIG utilizando sistemas embebidos e IoT, enfocado en la monitorización que permita la recolección y visualización de los datos.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Investigar los gases importantes realizados en la soldadura MIG/TIG, enfocándose en dióxido de carbono y monóxido de carbono.
- Desarrollar un sistema de sensores capaz de medir los rangos de dióxido de carbono (CO₂) y monóxido de carbono (CO) en los procesos de soldadura MIG/TIG.
- Integrar el sistema de sensores con una interfaz IoT para la recopilación, evaluación y representación de información.
- Realizar pruebas del sistema en entornos controlados para verificar su funcionamiento, obteniendo resultados.

1.4 Alcance

El objetivo de este proyecto se centra en el diseño y la implementación de un dispositivo para la medición de gases en talleres de soldadura que utilizan procesos MIG/TIG, utilizando tecnologías de sistemas embebidos y IoT (Internet de las Cosas). Este sistema estará diseñado para realizar las siguientes funciones clave:

1.4.1 Medición de Gases y Partículas

El sistema estará diseñado para medir dióxido de carbono (CO₂) y monóxido de carbono (CO) presente en el entorno laboral.

1.4.2 Indicadores Esenciales

El sistema proporcionará indicaciones visuales y sonoras sobre los niveles de gases mediante una luz indicadora (por ejemplo, verde para niveles normales) y una alarma (bocina o sonido) en caso de detectar concentraciones elevadas de dióxido de carbono (CO₂) y monóxido de carbono (CO).

1.4.3 Visualización y Registro de Datos

El sistema registrará los datos de monitorización En una base de datos para su análisis y revisión posterior.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2. Descripción Teórica

2.1 Historia y Evolución en la Soldadura MIG y TIG

La historia tiene sus raíces en avances tecnológicos de la primera mitad del siglo XX. Según la American Welding Society (2023):

La soldadura MIG fue desarrollada en los años 40 para unir aluminio y otros metales no ferrosos, mientras que la soldadura TIG, introducida poco antes, permitió trabajar con precisión materiales sensibles al calor como el magnesio. Ambos métodos surgieron como respuesta a la creciente necesidad de unir metales de manera más eficiente durante la Segunda Guerra Mundial y se consolidaron en la industria gracias a su manera de cambiar y calidad de datos obtenidos.

A lo largo de las décadas, ambos procesos han evolucionado significativamente, adaptándose a las demandas de la industria moderna. Innovaciones como el uso de fuentes de energía eficientes, sistemas de control automatizado y materiales avanzados han permitido optimizar estos métodos, mejorando la calidad de las soldaduras y reduciendo costos.

Hoy en día, tanto la soldadura MIG como TIG son fundamentales en sectores como el automotriz, aeroespacial y de construcción, donde la precisión y durabilidad son esenciales. Además, la investigación continua en busca de soluciones más sostenibles, como la reducción de gases de protección y la adopción de tecnologías sostenibles para reducir el impacto ambiental vinculado a estos procesos.

2.2 Introducción a la Soldadura MIG/TIG

La soldadura es un desarrollo fundamental en la construcción y ensamblaje de componentes metálicos, utilizado en una extensa clase de industrias, desde la aeroespacial hasta la automotriz. Entre los tipos de soldadura más comunes se encuentran la soldadura MIG (Metal Inert Gas) y TIG (Tungsten Inert Gas).

2.3 Soldadura MIG

La soldadura MIG, también conocida como GMAW (Gas Metal Arc Welding), utiliza un electrodo consumible que se alimenta continuamente a través de una boquilla. Este electrodo, que generalmente está compuesto de un alambre metálico, se funde y forma el material de aporte para la soldadura. Un humo sin vida, como el argón o una combinación de argón y CO₂, se emplea como gas protector para evitar la contaminación por elementos presentes en la atmósfera, tales como oxígeno y nitrógeno. Este gas protector crea una atmósfera controlada que estabiliza el arco eléctrico y asegura una soldadura limpia y libre de defectos (OSHA, 2024).

La soldadura MIG es popular debido a su eficiencia y versatilidad. Puede ser utilizada para trabajar con una gran variedad de metales, como acero al carbono, acero inoxidable y aluminio. Además, su capacidad para operar en modos automáticos y semiautomáticos la hace ideal para aplicaciones industriales de gran escala (EPA, 2024).

2.4 Soldadura TIG

La soldadura TIG, o GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), utiliza un electrodo no consumible para generar el arco de soldadura. Similar a la soldadura MIG, emplea un gas, como el argón, para resguardar la zona de soldadura de la contaminación ambiental. Sin embargo, a diferencia de la soldadura MIG, en la soldadura TIG el electrodo no se consume durante el proceso, lo que permite una mayor precisión y control sobre la soldadura (AIHA, 2024).

Este método es especialmente valorado debido a la elevada calidad y precisión de las soldaduras que genera. Es especialmente adecuada para aplicaciones que demandan uniones soldadas, limpias y fuertes, de manera similar en el sector aeroespacial y en la producción de bienes de alta precisión. La soldadura TIG es especialmente efectiva para materiales finos y metales sensibles al calor, como el aluminio y el magnesio (EPA, 2024).

2.5 Comparación y Aplicaciones

Ambos métodos cuentan con beneficios y usos particulares. La soldadura MIG es generalmente preferida para trabajos de alta producción y para materiales más gruesos debido a su velocidad y eficiencia. La soldadura TIG, por otro lado, es preferida para trabajos que requieren un alto grado de precisión y calidad en la soldadura (OSHA, 2024).

Entender las diferencias y aplicaciones de la soldadura MIG y TIG es crucial para seleccionar el método adecuado para cada proyecto. La elección del método de soldadura puede influir significativamente en la calidad del producto final, la eficiencia del proceso y la seguridad de los trabajadores (AIHA, 2024).

2.6 Riesgos Asociados a los Humos de Soldadura

La exposición a humos de soldadura supone un peligro considerable para la salud de los operadores de soldadura. Estudios realizados por la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) han demostrado que los humos de soldadura contienen metales tóxicos como cromo, níquel y manganeso, que pueden causar enfermedades respiratorias crónicas y agudas (OSHA, 2024). Además, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha identificado que los humos de soldadura pueden contener partículas ultrafinas que pueden penetrar profundamente en los pulmones y causar daños severos (EPA, 2024).

La Asociación Americana de Higiene Industrial (AIHA) también ha destacado los riesgos ocupacionales asociados con la exposición a los humos de soldadura, subrayando la

necesidad de implementar controles de ingeniería y equipos de protección personal adecuados para mitigar estos riesgos (AIHA, 2024).

2.7 Gases Emitidos en los Procesos de Soldadura MIG y TIG

2.7.1 Emisión de Monóxido de Carbono (CO) en la Soldadura

El monóxido de carbono (CO) se encuentra entre los principales gases producidos durante los procesos de soldadura MIG y TIG. Según la Occupational Safety and Health Administration (2024):

Este gas se forma principalmente debido a la descomposición térmica de compuestos orgánicos presentes en revestimientos, lubricantes o materiales contaminantes en la superficie de los metales. En el caso de la soldadura MIG, la alta temperatura del arco eléctrico favorece la formación de CO al quemar parcialmente los compuestos en un ambiente de baja disponibilidad de oxígeno.

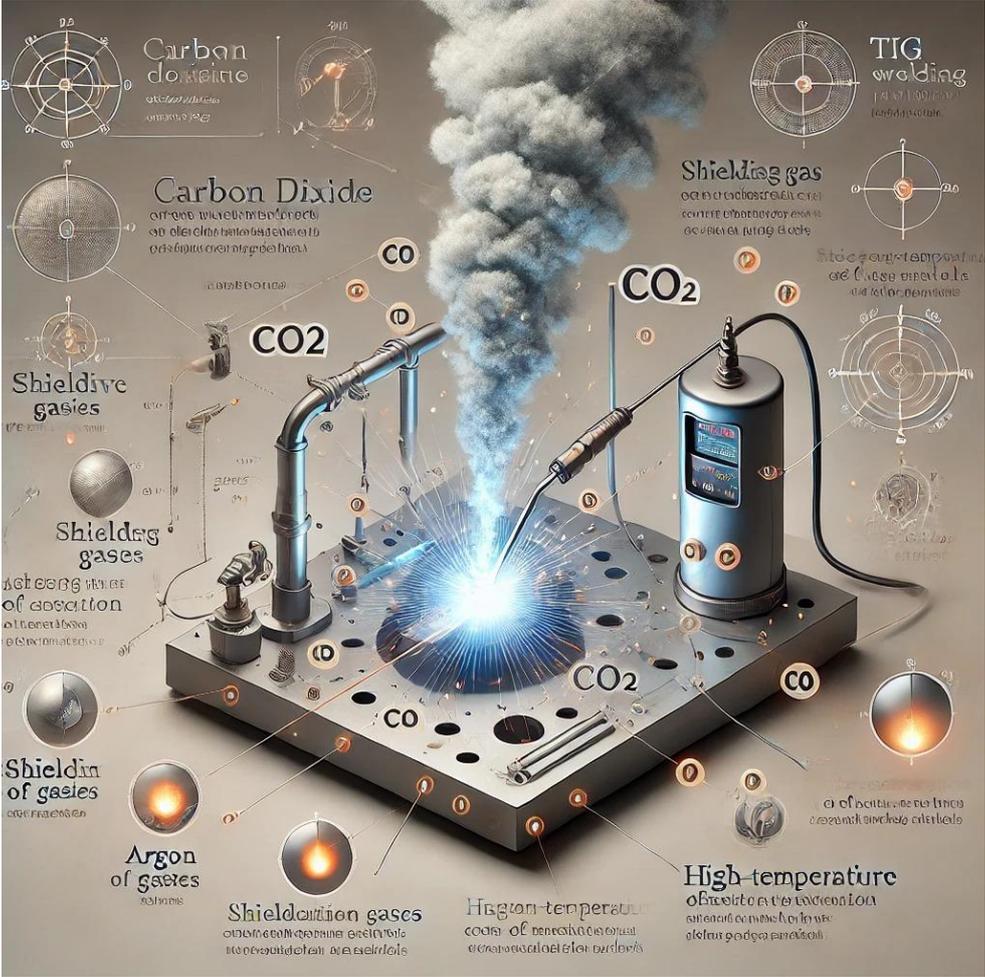
La exposición prolongada al monóxido de carbono es peligrosa, ya que este gas incoloro e inodoro es capaz de ligarse a la hemoglobina, lo que disminuye la suficiencia del organismo para transportar oxígeno. Esto podría generar síntomas como vértigo, desorientación e incluso desmayo en espacios con escasa ventilación. Por ello la implementación de sistemas de ventilación adecuados y la monitorización constante son esenciales en los talleres que emplean este tipo de soldadura. (OSHA. 2024)

el aire, creando un riesgo de asfixia en áreas cerradas. Además. Como gas de efecto invernadero, el dióxido de carbono tiene implicaciones ambientales importantes.

En la soldadura TIG, aunque la cantidad de CO₂ emitido es generalmente menor, sigue siendo relevante como resultado de las reacciones químicas generadas a lo largo del proceso. La búsqueda de alternativas más sostenibles, como gases protectores menos contaminantes, es un campo activo de investigación para reducir el impacto de este tipo de soldaduras en el medio ambiente (EPA, 2024)

Figura 3

Proceso de emisión de CO₂ en soldadura TIG



Nota. Representación de la emisión de CO₂ en procesos de soldadura TIG, destacando las fuentes de generación como gases protectores y oxidación metálica. Fuente: DALL-E (2025).

2.8 Efectos sobre la salud y el entorno natural

Los gases emitidos en los procesos de soldadura MIG y TIG No solo suponen un peligro para la salud de los trabajadores, sino que también presentan un impacto considerable en el medio ambiente. Según la American Welding Society (AWS, 2023), “la exposición a gases como el CO y CO₂ puede mitigarse significativamente mediante el uso de tecnologías avanzadas y estrategias de seguridad industrial adecuadas”. Los talleres deben adoptar medidas preventivas, como sistemas de extracción de aire, ventilación adecuada y equipos de protección personal, para minimizar la exposición a estos gases.

2.9 DESKTOP-94JME4O

Ordenador con características y especificaciones de gama media. La cual posee los siguientes detalles:

Tabla 1

Detalles del Ordenador

Características	Descripción
Nombre	DESKTOP-94JME4O
Procesador	AMD Ryzen 5 2400G
Memoria RAM	8 GB
Sistema Operativo	Windows 10 Pro

Nota. Detalles importantes del equipo. Elaborado por: Los autores.

Se trata de un componente de nivel intermedio, diseñado para tareas computacionales de demanda moderada y procesos prolongados.

2.10 ESP32

El ESP32, un chip SoC que integra conectividad Wifi y Bluetooth incorpora un procesador de arquitectura Xtensa de dos núcleos de 32 bits con capacidad de carga de 240MHz,

consta con 34 pines GPIO y 16 pines configurables como PWM. Mostrando robustez, versatilidad y confiabilidad en una amplia variedad de aplicaciones (Espressif System, 2022).

El ESP32 es utilizado ampliamente en aplicaciones de comunicación remota, dentro de las cuales puede abarcar la monitorización ambiental y la facilidad de compatibilidad con la plataforma Arduino IDE lo que facilita su programación.

Figura 4

Diagrama de pines de microcontrolador Wi-Fi y Bluetooth



Nota. Microcontrolador Wifi y Bluetooth. Fuente: SunFounder. (2023).

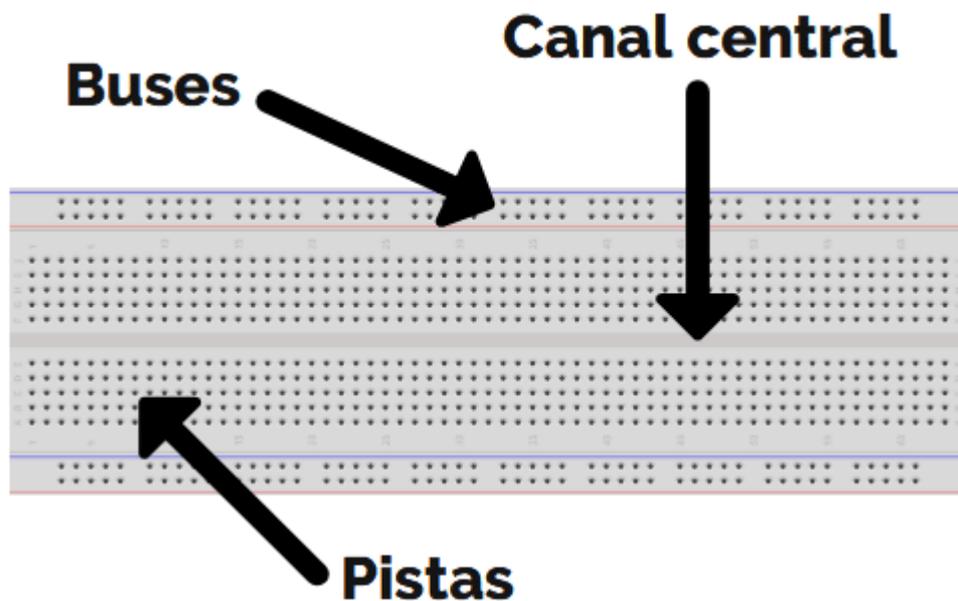
2.11 Protoboard

La protoboard, también conocida como placa de pruebas, es una herramienta ampliamente utilizada en proyectos electrónicos para el diseño y pruebas de circuitos sin necesidad de soldadura. Esta placa está formada por filas y columnas de conectores metálicos que permiten insertar componentes electrónicos de manera rápida y sencilla, facilitando el desarrollo y ajuste de prototipos. Es especialmente útil en proyectos educativos y de investigación, ya que permite realizar modificaciones sin comprometer los componentes ni la estructura del circuito (Kumar, 2020).

La versatilidad de la protoboard la convierte en una pieza esencial para la construcción de sistemas de monitorización, como el diseño de circuitos para medir gases en talleres de soldadura, donde los sensores y microcontroladores se conectan a través de esta herramienta para realizar pruebas iniciales y ajustes.

Figura 5

Distribución de contactos en una protoboard



Nota. Representación de la estructura básica de una protoboard, destacando las áreas de conexión para componentes de alimentación. Fuente: MieletrónicaFácil (2025)

2.12 MQ-135

El sensor MQ-135 es utilizado por la factibilidad de brindar el seguimiento de gases nocivos como el CO₂, CO, etanol. Proporcionando alertas cuando los niveles exceden de los umbrales (Khyloon, 2020).

Por lo que el sensor MQ-135 son utilizado en sectores industriales y soldadura debido a su capacidad amplia de detección de gases y a la par con la monitorización de calidad del aire.

El módulo cuenta con un programa electrónico que facilita la conectividad con una tarjeta de desarrollo.

Figura 6

Distribución de pines del sensor MQ-135



Nota. Imagen referencial de MQ-135 sensor pinout. Fuente: ResearchGate. (2022).

2.13 MQ-9

El sensor MQ-9 se emplea comúnmente para localizar humos como el monóxido de carbono (CO). Posee una gran sensibilidad al monóxido de carbono lo que lo hace adecuado para monitorear la calidad del aire en entornos industriales, incluyendo talleres de soldadura (Pololu, s.f.).

2.13.1 Características principales:

- Respuesta rápida y recuperación de datos
- Larga vida de duración y estabilidad
- Alta sensibilidad al monóxido de carbono y gases combustibles
- Fácil integración con microcontroladores como el ESP32

2.13.2 Aplicaciones:

- Detección de fuga de gas en entornos domésticos e industriales
- Monitorización de calidad del aire en talleres de soldadura
- Sistema de alarmas para detección de gases peligrosos

Figura 7

Distribución de pines del sensor MQ-9



Nota. Sensor de gas MQ-9. Fuente: YOROBOTICS. (2024).

2.14 Cargador 5V Punta Gruesa

Baterías de punta gruesa brindan una fuente de alimentación confiable y autónoma para dispositivos como el ESP32 y sensores, ayudando a la gestión de sistemas embebidos para el funcionamiento estable del sistema (Santos, 2022).

Figura 8

Cargador de 5V 2A



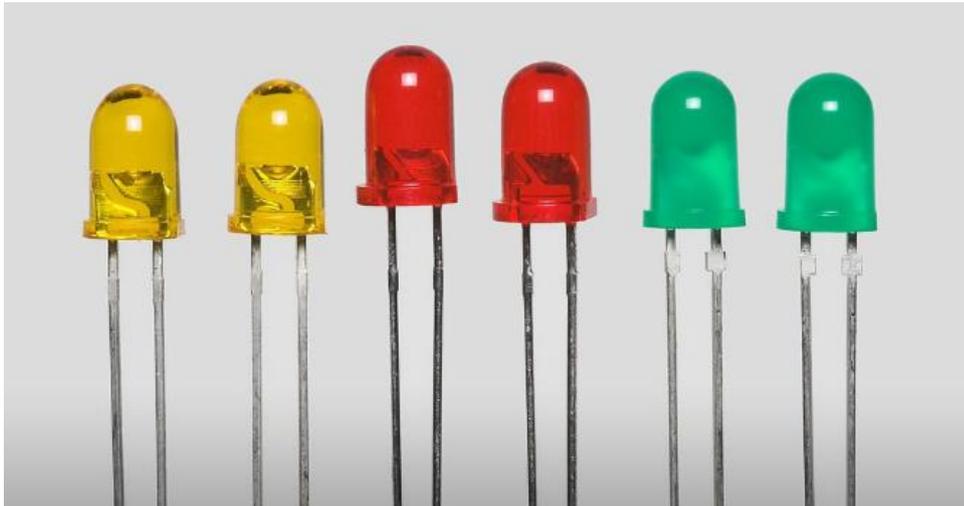
Nota. Imagen referencial de cargador de 5V 2A (punta gruesa). Fuente: Masternet. (2024).

2.15 Indicadores y alarma

Se destaca la importancia de los LEDs y los buzzers en sistemas de monitorización, ya que son componentes esenciales para proporcionar alertas visuales y sonoras, especialmente en aplicaciones donde la seguridad es crítica, como en la detección de gases en ambientes industriales (Kumar, 2020).

Figura 9

Displays LED



Nota. Imagen referencial de Displays LED. Fuente: MurkyRobot. (2024).

Figura 10

Buzzer Zumbador 5V Activo



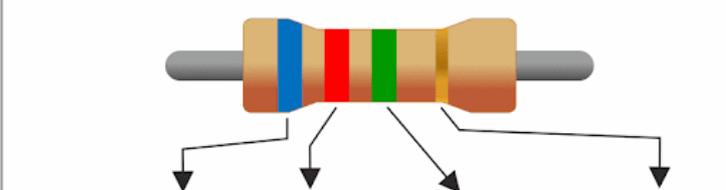
Nota. Imagen referencial de Buzzer Zumbador 5V Activo, fuente: Grupo Electrostore. (2024).

2.16 Conexiones y otros componentes

La relevancia de elegir correctamente los componentes pasivos, como las resistencias, para asegurar la estabilidad y el buen desempeño de los sistemas electrónicos. El uso adecuado de estos componentes es esencial en sistemas de bajo voltaje, como el que se utiliza en proyectos de monitorización de gases (Zhang, 2002).

Figura 11

Sistema de colores para resistencias de 4 bandas



COLOR	BANDA 1	BANDA 2	MULTIPLICADOR	TOLERANCIA
NEGRO	0	0	x 1 Ω	
MARRÓN	1	1	x 10 Ω	+/- 1%
ROJO	2	2	x 100 Ω	+/- 2%
NARANJA	3	3	x 1000 Ω	
AMARILLO	4	4	x 10,000 Ω	
VERDE	5	5	x 100,000 Ω	
AZUL	6	6	x 1,000,000 Ω	
VIOLETA	7	7	x 10,000,000 Ω	
GRIS	8	8	x 100,000,000 Ω	
BLANCO	9	9	x 1,000,000,000 Ω	
DORADO			x 0,1 Ω	+/- 5%
PLATEADO			x 0,01 Ω	+/- 10%
			SIN BANDA	+/- 20%

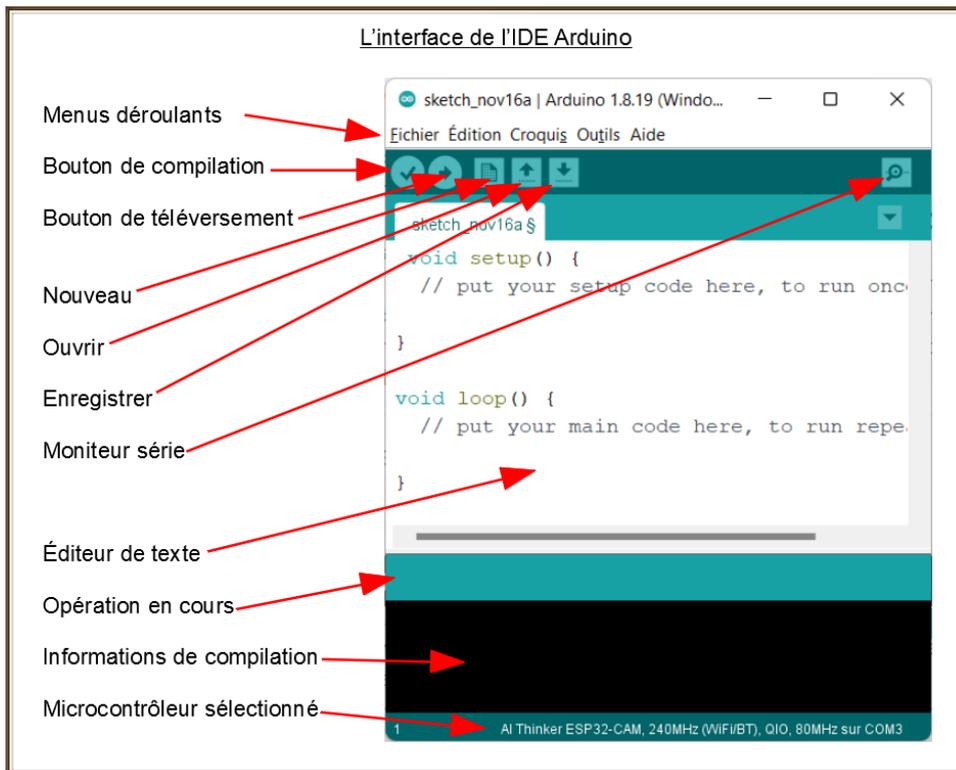
Nota. Código de colores de resistencias con su explicación explícita que incluye Banda 1, Banda 2, Multiplicador y Tolerancia. Fuente: SD Industrial. (2024).

2.17 Plataforma de desarrollo

El ámbito de desarrollo (IDE) de Arduino es una herramienta clave para la programación y el desarrollo de sistemas embebidos. El IDE facilita la creación de proyectos, desde la codificación hasta la carga en microcontroladores como el ESP32, lo que lo convierte en una opción popular en sistemas de monitorización y control de bajo costo (Fezari, 2018).

Figura 12

Interfaz Arduino IDE



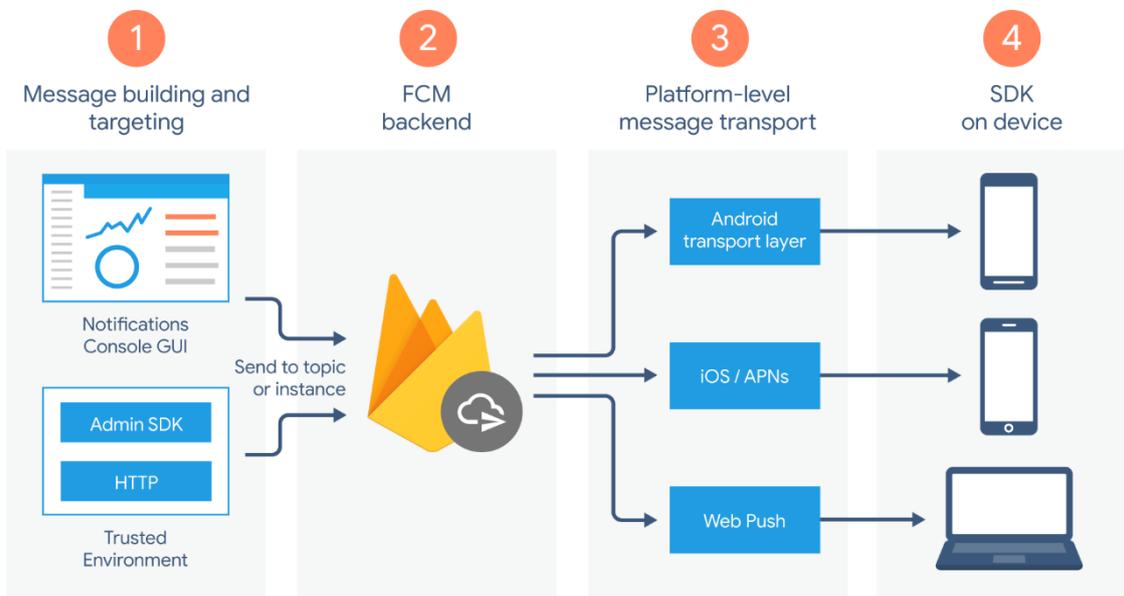
Nota. Interfaz básica del programa utilizado el cual es Arduino IDE. Fuente: Nitrathor. (2024).

2.18 Firebase

Firebase es un programa de desarrollo apoyada por Google, creada para simplificar la construcción de monitorización y optimización de aplicaciones. Proporciona diversas herramientas y servicios como análisis en tiempo real, almacenamiento, generación de informes, autenticación de usuarios y notificaciones push (Gaikwad, 2022).

Figura 13

Arquitectura de Firebase Fundamentals



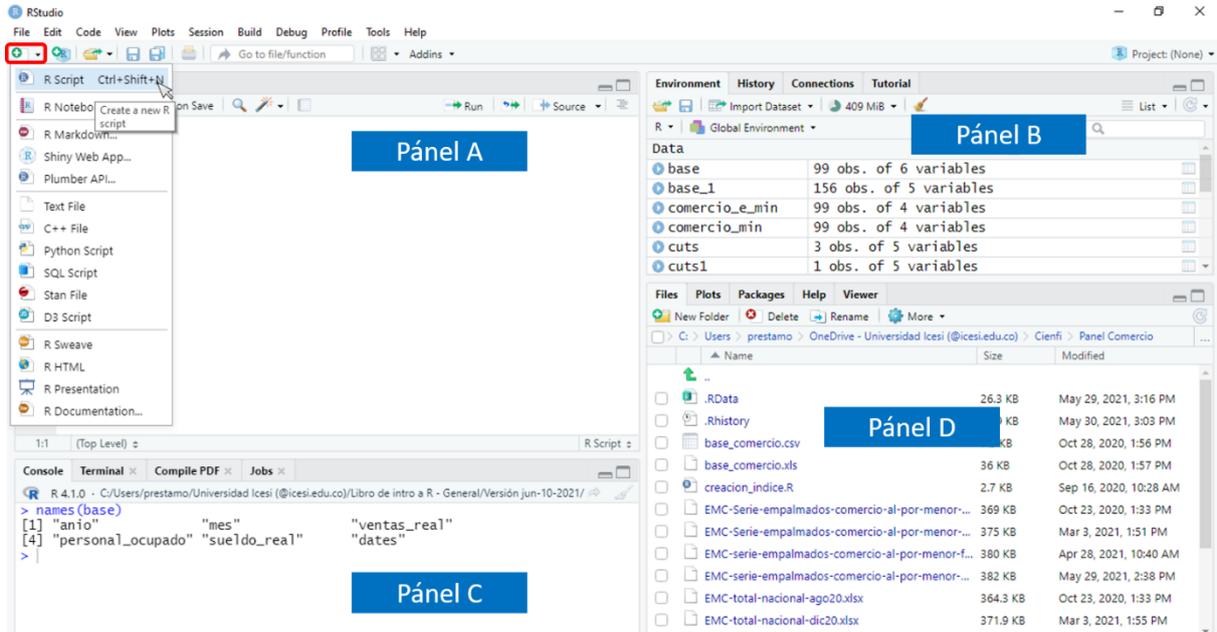
Nota. Imagen referencial de la arquitectura de Firebase Fundamentals el cual nos facilita el desarrollo de la aplicación. Fuente: Torunoglu, Zorbey. (2024).

2.19 R Studio

R Studio es un ámbito de desarrollo (IDE) creado para programar en R, un lenguaje de uso común en la toma de datos y la estadística. Este entorno proporciona una interfaz fácil de usar, que cuenta con un editor de scripts, una consola interactiva y un visor de gráficos y herramientas de gestión de proyectos, lo que facilita tanto el desarrollo como la presentación de resultados. Además, su compatibilidad con paquetes y herramientas avanzadas de depuración, visualización de datos en tiempo real, integración con sistemas de control de versiones (como git) y soporte para paquetes avanzados de R amplía sus capacidades para realizar análisis complejos y visualizaciones interactivas. (Grolemund & Wickham, 2017)

Figura 14

Interfaz de R Studio



Nota. Representación visual del entorno de desarrollo de R Studio utilizado para análisis de datos y desarrollo de la parte estadística. Fuente ICESI (2020)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

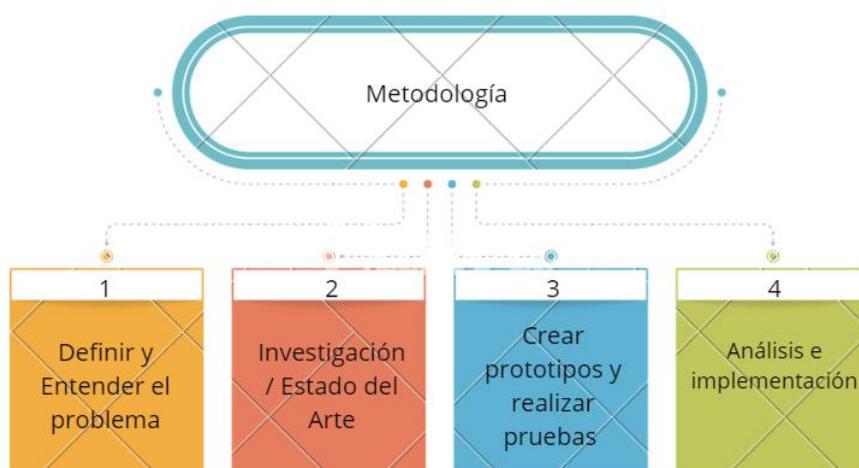
3. Metodología ajustada al proyecto

Para este proyecto de titulación, se ha optado por la metodología Sprint, ya que permite dividir el proceso en etapas y alcanzar el objetivo de manera eficiente, mediante un análisis desde el inicio hasta el final, lo que facilita la mejora de los resultados en un tiempo reducido, la metodología Sprint se adapta para solucionar y solventar una problemática de forma rápida, siendo fundamental cada fase para entender, investigar, implementar y, finalmente, desarrollar un circuito de sensores para la medición de gases en procesos de soldadura MIG/TIG en talleres.

Respecto al alcance del desarrollo del sistema, el análisis inicial para comenzar con la creación del sistema de sensores para medir los gases de soldadura MIG/TIG en talleres se organizó en tareas semanales. Esto facilitó la investigación, verificación, comprensión, realización de pruebas iniciales y finales, así como la corrección de errores en el sistema.

Figura 15

Metodología Sprint



Nota. Metodología Sprint ajustada al proyecto técnico desarrollado. Elaborado por: Los autores.

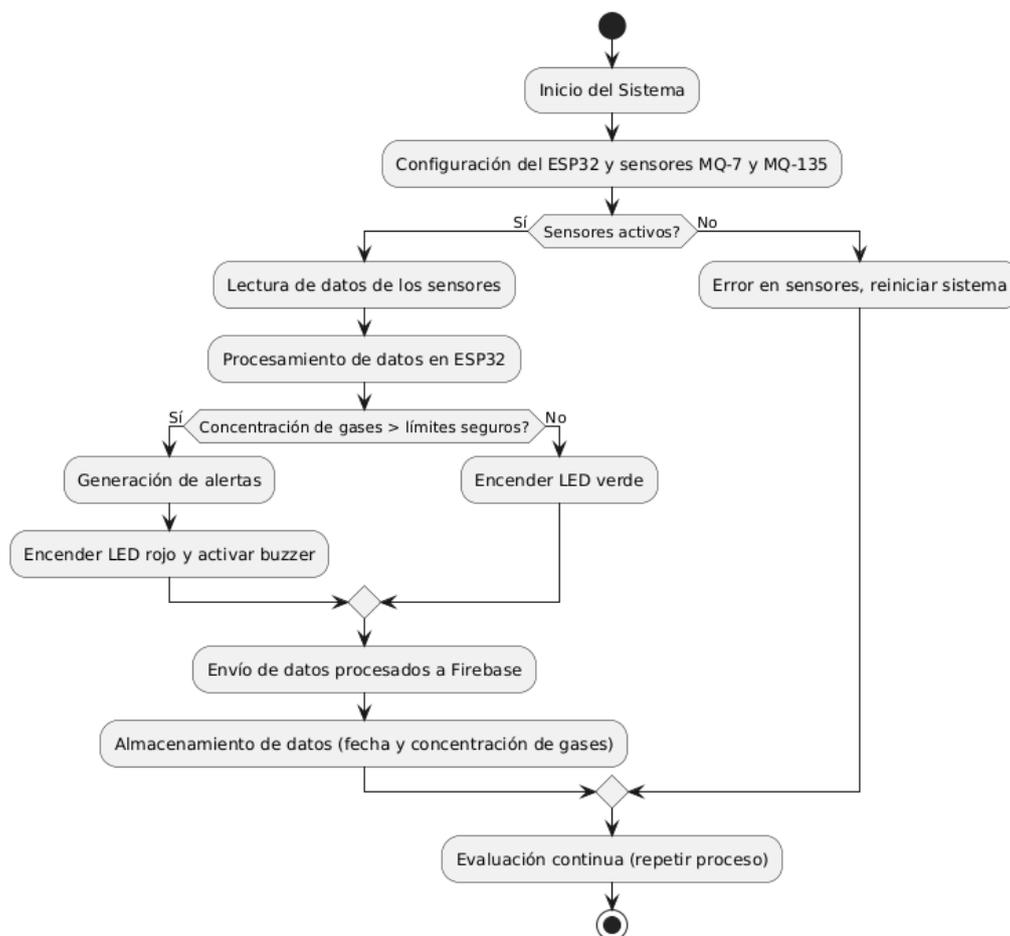
Tras identificar la metodología, se realizó el prototipo del sensor, se recolecto datos y se diseñó el prototipo final para el taller de soldadura MIG/TIG.

3.1 Diseño del sistema

El diseño del programa se centrará en el diagrama de flujo de etapas, esencial para la ejecución adecuada del programa:

Figura 16

Flujograma sistema de sensores



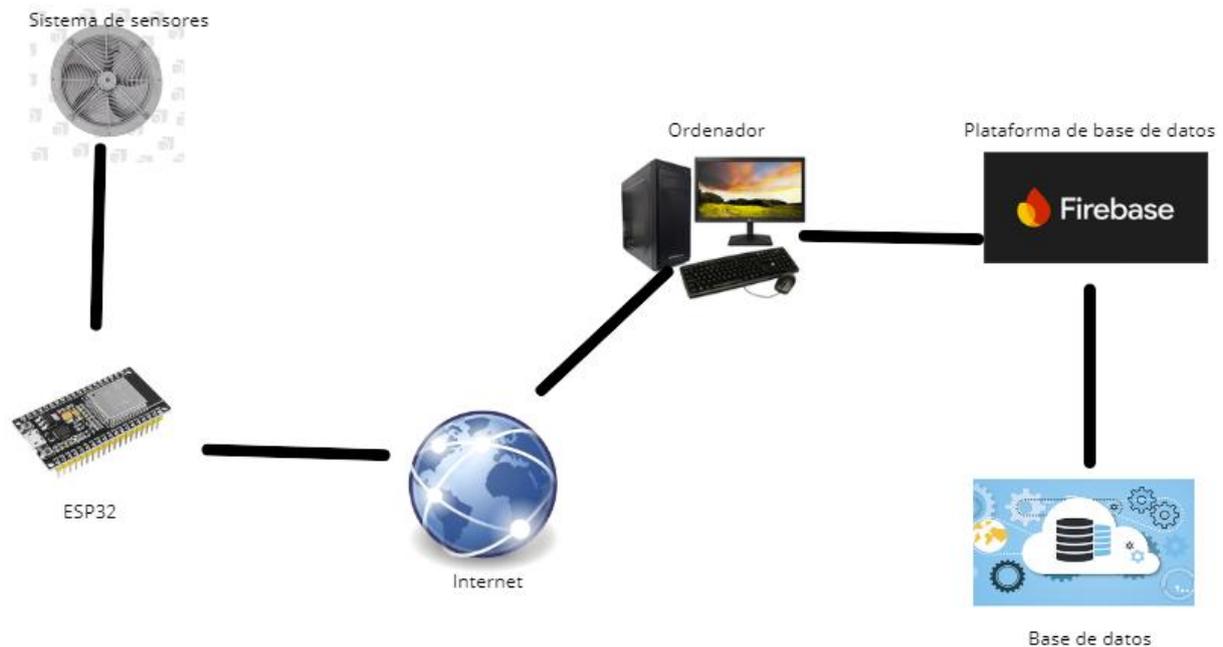
Nota. Este diagrama ilustra las etapas para el diseño e implementación del sistema de sensores para medir los gases de soldadura MIG/TIG. Elaborado por: Los autores.

3.1.1 Diagrama de Operación

El diseño del sistema se realiza de forma inalámbrica, permitiendo su configuración remota, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 17

Diseño e implementación del circuito



Nota. Esta imagen describe el sistema que se empleará para el diseño y su implementación.

Elaborado por: Los autores.

3.1.2 Estudio y operación del sistema

El presente proyecto utiliza una arquitectura basada en sistemas embebidos para realizar la medición y recolección de datos sobre gases en talleres de soldadura el cual sigue los siguientes pasos, el ciclo comienza con el ESP32 el cual se encuentra encendido y posteriormente ya programado.

Posteriormente los sensores MQ-7 (monóxido de carbono) y MQ-135 (dióxido de carbono) se activan y ya se encuentran calibrados para obtener lecturas precisas, al realizar el

proceso de soldadura los sensores detectan la concentración de gases en el ambiente los cuales son capturados y enviados al ESP32.

El ESP32 ayuda convirtiendo estos datos analógicos en datos digitales los cuales serán comparados de acuerdo con los umbrales propuestos para determinar si los niveles de gas en el ambiente son seguro o se corre algún riesgo.

Si las concentraciones de gases superan los valores límites de umbrales se encenderá automáticamente el LED de color rojo para darnos una alerta visual, a continuación, se encenderá nuestro buzzer para emitir una alerta de forma sonora. Si los valores se encuentran dentro del umbral solo se mantendrá activo nuestro LED verde.

A continuación, los datos procesados los cuales están estructurados con fecha y concentración de gases detectados serán enviados a la plataforma Firebase a través de la conectividad WIFI que dispone nuestro ESP32.

Finalmente, la información almacenada en la base de datos será utilizada como nuestra fuente de datos para realizar el análisis de las mediciones recolectadas tras un proceso de soldadura, y este procedimiento se repetirá de manera continua.

3.1.3 Desarrollo e implementación de los componentes

Una vez aclarado el punto anterior, se procedió a la compra del ESP32, sensores, placa soldadura, LEDs, resistencias, protoboard y buzzer, con el que primeramente se desarrolló un prototipo en el protoboard, para luego soldar los componentes en la placa de circuito impreso.

Las especificaciones del ESP32 adquirido para este proyecto son las siguientes:

Tabla 2*Características ESP32*

Características	Descripción
Marca	ESP32
Modelo	C V4
Microprocesador	Dual Core 32 bits
Memoria ROM	448 KB
Memoria RAM	520 KB
Memoria SRAM	16 KB
WIFI	si
Bluetooth	si
Voltaje	3,3 V

Nota. Características ESP32. Fuente: Espressif Systems.

Las características del MQ-135 adquirido para este proyecto son los siguientes:

Tabla 3*Características Sensor MQ-135*

Características	Descripción
Rango Detección	10 a 10000 ppm
Modelo	MQ-135
Consumo de energía	880 mW
Pre calentamiento	23 H
Salida señal	Analógica
Voltaje	5 V

Nota. Características sensor MQ-135. Fuente: Hanwei Electronics.

Las características del MQ-9 adquirido para este proyecto son los siguientes:

Tabla 4*Características Sensor MQ-9*

Características	Descripción
Rango Detección	10 a 10000 ppm
Modelo	MQ-9
Consumo de energía	350 mW
Pre calentamiento	48 H
Salida señal	Analógica
Voltaje	5 V

Nota. Características sensor MQ-9. Fuente: Hanwei Electronics.

3.2 Generación del conjunto de datos

Una vez soldado los componentes de nuestros dispositivos se procede a colocar en el lugar optimo en donde se realizan las soldaduras MIG/TIG, el cual se encuentra en una posición acertada entre el humo que produce la soldadura y nuestro dispositivo, el cual medirá los niveles de dióxido de carbono y monóxido de carbono, cuyos valores se utilizarán para completar nuestra base de datos en Firebase.

3.2.1 Medidas de tendencia central

Para el procedimiento se obtuvo en cuenta los datos recolectados por los sensores los mismos que son descargados desde Firebase como un archivo JSON el mismo que posterior será transformado en un CSV para tener un manejo más rápido en el entorno de R Studio.

3.2.3 Programación de los dispositivos

Una vez realizada las conexiones necesarias de los dispositivos es necesario comenzar a programarlos para su correcto funcionamiento, Arduino IDE es la herramienta para el desarrollo del proyecto, por lo que a continuación detallaremos los pasos seguidos:

Se asigna el sensor MQ-135 al puerto 34, MQ-9 al puerto 35, Buzzer al puerto 27, Led rojo al puerto 25 y el Led verde al puerto 26.

Figura 18

Asignación de los dispositivos a los puertos

```
#define MQ135_PIN 34
#define MQ9_PIN 35
#define BUZZER_PIN 27
#define LED_VERDE 26
#define LED_ROJO 25
```

Nota. Asignación de los dispositivos a los puertos. Elaborado por: Los autores

Posteriormente se calibra los umbrales adecuados para la toma de datos en nuestros sensores los mismos que están validados en un lugar abierto, los niveles adecuados de ppm es de mínimo 300 y un máximo de 500.

Figura 19

Asignación de los umbrales para los sensores

```
// Umbrales
#define UMBRAL_MQ9_MIN 300
#define UMBRAL_MQ9_MAX 400
#define UMBRAL_MQ135_MIN 300
#define UMBRAL_MQ135_MAX 400
```

Nota. Asignación de los niveles de umbral para los datos. Elaborado por: Los autores.

3.3 Cálculos estimación de concentraciones de CO y CO2

Para calibrar las métricas de CO y CO2 filtradas en el dispositivo se aplica las fórmulas para calcular la resistencia del sensor y la función para calcular la ppm ingresadas. Partimos por el cálculo de la resistencia del sensor donde toma como entrada ADC, su fórmula es: $\text{voltaje} = (\text{valor ADC} / 4095) * \text{VCC}$.

Para la concentración de ppm se realiza los cálculos de resistencia, pendiente de la curva calibración y la intersección de la curva de calibración.

Figura 20

Cálculos estimación

```
// Función para calcular resistencia del sensor
float calcularRS(int valorADC) {
    float voltaje = (valorADC / 4095.0) * VCC;
    return RL * (VCC - voltaje) / voltaje;
}
```

Nota. Cálculos de estimación. Elaborado por: Los autores.

Figura 21

Cálculos de ppm

```
// Función para calcular ppm
float calcularConcentracion(float rs, float r0, float m, float b) {
    return pow(10, (log10(rs / r0) - b) / m);
}
```

Nota. Cálculos transformación de ppm. Elaborado por: Los autores.

3.3 Conexión WIFI

Para que la conexión se realice de forma remota es necesario configurar el ESP32 con la opción de WIFI que dispone así lograr la comunicación remotamente y enviar los datos captados por los sensores.

Es necesario proporcionar el nombre de la red y la clave correspondiente para conectar el ESP32 a internet, posterior se implementa la impresión para visualizar en el entorno IDE si la conexión es exitosa o fallida.

Figura 22

Asignación de las credenciales de conexión

```
const char* ssid = "Vady";  
const char* password = "12345678";
```

Nota. Datos de prueba para la conexión WIFI. Elaborado por: Los autores.

Figura 23

Código para la conexión WIFI

```
WiFi.begin(ssid, password);  
Serial.print("Conectando a Wi-Fi");  
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {  
    delay(500);  
    Serial.print(".");  
}  
Serial.println("¡Conectado a Wi-Fi!");
```

Nota. Código para realizar la conexión del ESP32 a WIFI. Elaborado por: Los autores.

3.4 Conexión con Firebase

Para realizar la conexión con Firebase en donde se almacenará nuestra base de datos es fundamental disponer del host y de la clave de autenticación las mismas que por seguridad no se mostraran las credenciales reales únicamente una prueba.

Figura 24

Código para la conexión Firebase

```
Firestore.begin(FIREBASE_HOST, FIREBASE_AUTH);  
Firestore.reconnectWiFi(true);
```

Nota. Programa para establecer la conexión con Firebase. Elaborado por: Los autores.

Figura 25

Datos prueba de conexión con firebase

```
#define FIREBASE_HOST "https://estaesunaprueba.com/"  
#define FIREBASE_AUTH "AIz5SyD3C4wtCj9Lx22dfYhxWaxC4KqiK-6pAT8"
```

Nota. Datos prueba de conexión a Firebase. Elaborado por: Los autores

3.4.1 Datos Monóxido de Carbono Generados

Para esto se utilizó nuestro dispositivo desarrollado con los sensores al desde las 12:00 PM hasta alrededor de la 1:30 PM, durante el cual se mantiene generando los datos captados por los sensores.

Figura 26

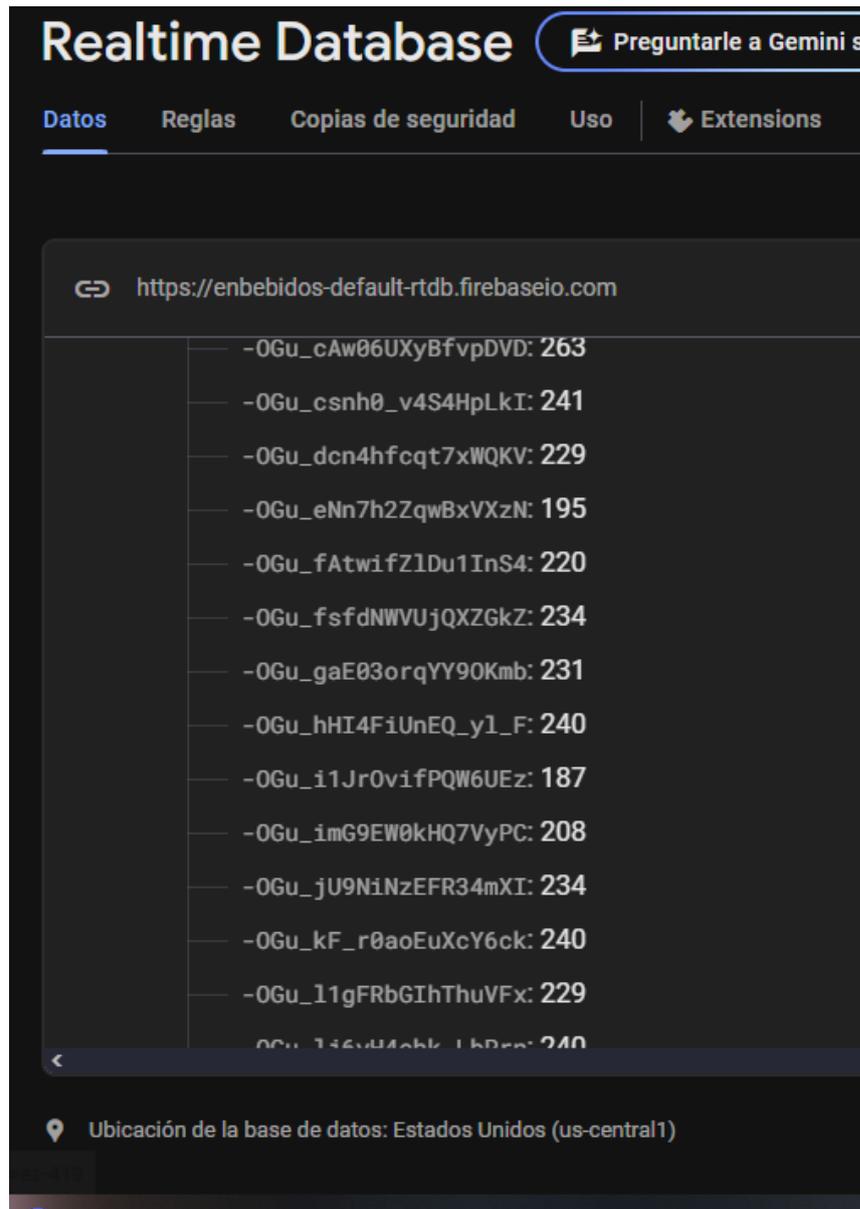
Toma de datos monóxido de carbono



Nota. Recopilación de datos de monóxido de carbono. Elaborado por: Los autores.

Figura 27

Datos de monóxido de carbono en Firebase



Nota. Datos obtenidos por nuestro sensor MQ-9. Elaborado por: Los autores.

3.4.2 Datos Dióxido de Carbono Generados

Para esto se utilizó nuestro dispositivo desde las 12:00 PM hasta alrededor de la 1:30 PM, durante el cual se mantiene generando los datos captados por nuestros sensores.

Figura 28

Tanques de CO₂



Nota. Tanques de CO₂. Elaborado por: Los autores

Figura 29

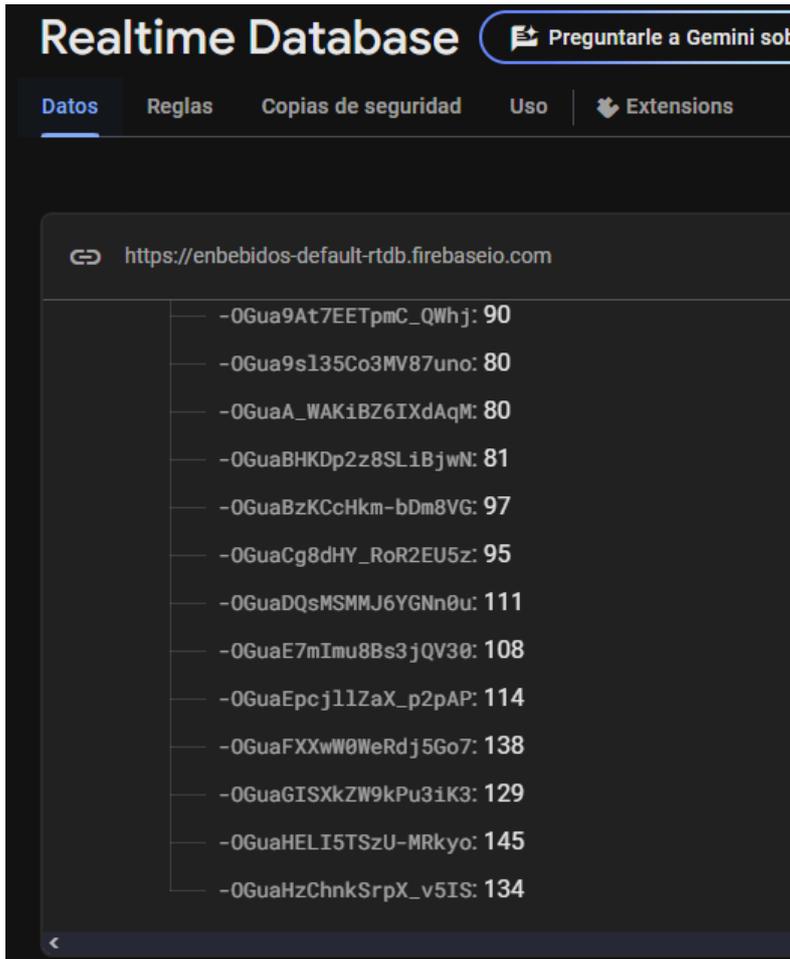
Toma de datos dióxido de carbono



Nota. Recopilación de datos de dióxido de carbono. Elaborado por: Los autores.

Figura 30

Datos de dióxido de carbono en Firebase



Nota. Datos obtenidos por nuestro sensor MQ-135. Elaborado por: Los autores

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

4. Métricas y Resultados del Circuito de toma de gases

4.1 Pruebas

El sistema diseñado fue sometido a una serie de pruebas en un taller de soldadura especializado, Con el objetivo de validar su funcionamiento, Precisión y capacidad de detectar gases peligrosos como el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO₂). Estas pruebas se llevaron a cabo en entornos controlados, Replicando condiciones reales de trabajo.

4.2 Entorno de pruebas

Las pruebas realizadas en el Taller de Soldadura Especializado Carrillo, ubicado en Quito. Ecuador. Este taller cuenta con tres estaciones de trabajo para procesos de soldadura MIG y TIG. El sistema fue instalado en una posición estratégica que permitiera captar de manera efectiva los gases emitidos durante las operaciones de soldadura, asegurando una distancia adecuada entre el punto de generación de los gases y los sensores

Figura 31

Entorno de trabajo para soldar

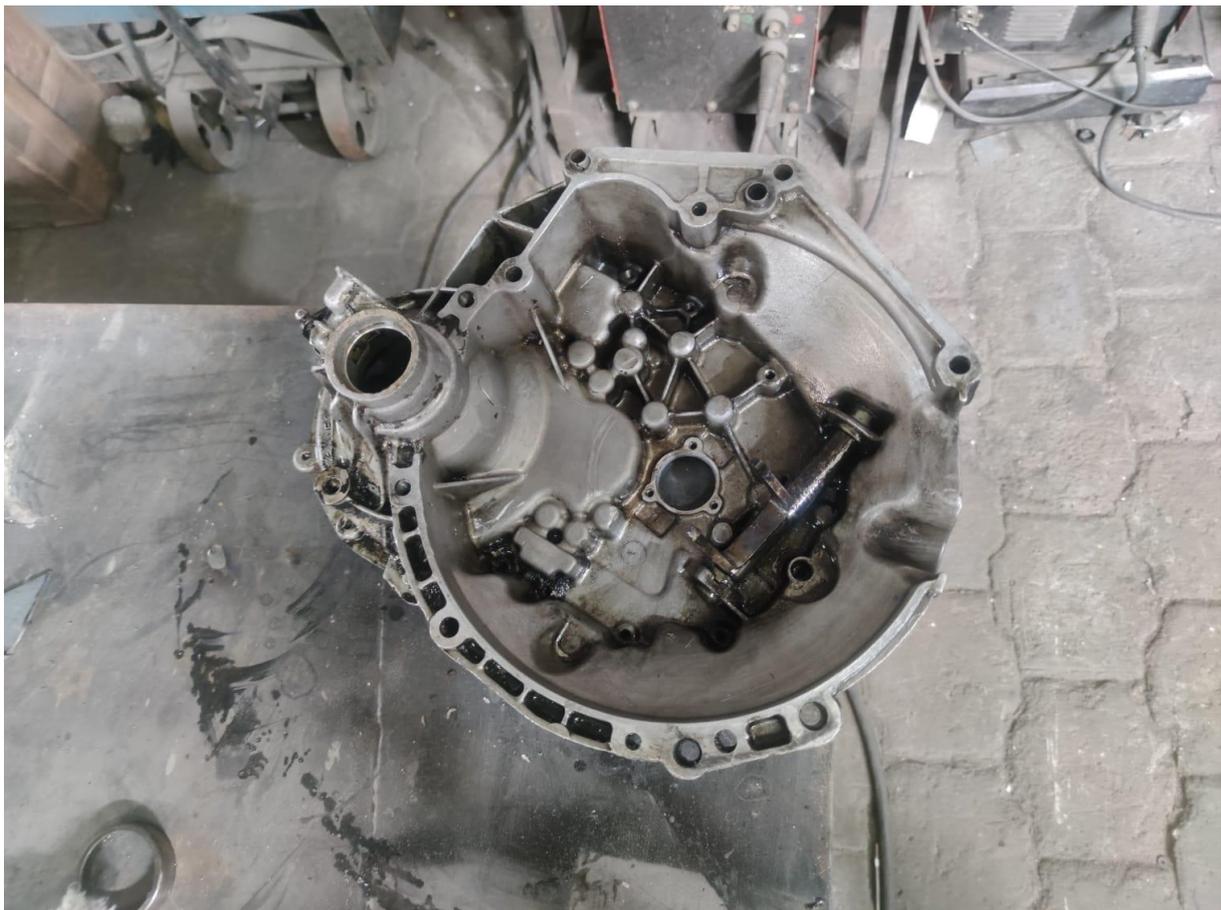


Nota. Una de las tres estaciones de trabajo para procesos de soldadura MIG y TIG. Elaborado por: Los autores

Para llevar a cabo las pruebas del sistema de monitorización de gases, se eligió una pieza de automóvil hecha de acero al carbono, un material comúnmente utilizado en procesos de soldadura MIG/TIG debido a su resistencia y conductividad térmica. La pieza tenía unas dimensiones aproximadas de 55 x 40 cm, características que permiten replicar condiciones reales de trabajo en talleres de soldadura.

Figura 32

Pieza de automóvil a soldar



Nota. Pieza de automóvil utilizada para las pruebas de soldadura en el taller. Elaborado por:
Los autores

Antes de iniciar la soldadura se llevó a cabo una limpieza exhaustiva de la pieza utilizando thinner como solvente. Este procedimiento tuvo como objetivo eliminar residuos de grasa, óxido y otras impurezas que pudieran interferir con la calidad del codón de soldadura o

alterar las mediciones de los gases emitidos. La limpieza garantiza una superficie adecuada para obtener una unión uniforme y precisa.

Figura 33

Limpieza de pieza a soldar



Nota. La limpieza de la pieza a soldar es crucial para un resultado impecable. Elaborado por:

Los autores

La soldadura se realizó siguiendo los parámetros estándar para el proceso MIG, aplicando un cordón continuo a lo largo de los bordes de la pieza. Durante la operación se

utilizaron electrodos consumibles con gas protector (mezcla de argón y dióxido de carbono) para estabilizar el arco eléctrico y minimizar la contaminación atmosférica.

Figura 34

Elementos para el proceso de soldadura



Nota. Elementos cruciales para soldar la pieza de automóvil y dejarla en su resultado esperado. Elaborado por: Los autores

Al finalizar la soldadura, la pieza fue inspeccionada visualmente para evaluar la calidad del cordón y verificar la presencia de posibles defectos, como porosidades, grietas o

salpicaduras. Además, se realizaron mediciones de los niveles de gases emitidos, con un enfoque en las concentraciones de monóxido de carbono y dióxido de carbono.

La preparación y el procedimiento implementado posibilitaron la simulación de condiciones reales de soldadura, lo que fue crucial para validar el rendimiento del programa de medición de gases en un ámbito controlado.

Figura 34

Pieza de automóvil ya soldada



Nota. La pieza de automóvil ya soldada quedando con el resultado esperado desde un inicio.

Elaborado por: Los autores

4.3 Procedimientos de las pruebas

4.3.1 Calibración inicial de sensores

Antes de iniciar las pruebas como se realizó una calibración de los sensores MQ-135 y mMQ-9 en un entorno abierto. Como y estableciendo umbrales de seguridad para concentraciones de CO y CO₂. Los valores definidos para las pruebas fueron:

- Nivel bajo: < 100 ppm
- Nivel medio: 200 – 300 ppm
- Nivel alto: > 500 ppm

4.3.2 Pruebas de funcionamiento en condiciones controladas

Se realizaron soldaduras de una pieza de automóvil en una estación específica mientras los sensores registran los niveles de gases en tiempo real. Las concentraciones fueron almacenadas en la plataforma Firebase para análisis posterior.

Figura 20

Soldadura de pieza de automóvil



Nota. Soldadura de la pieza de automóvil mientras se obtiene datos de la emisión de gases.

Elaborado por: Los autores

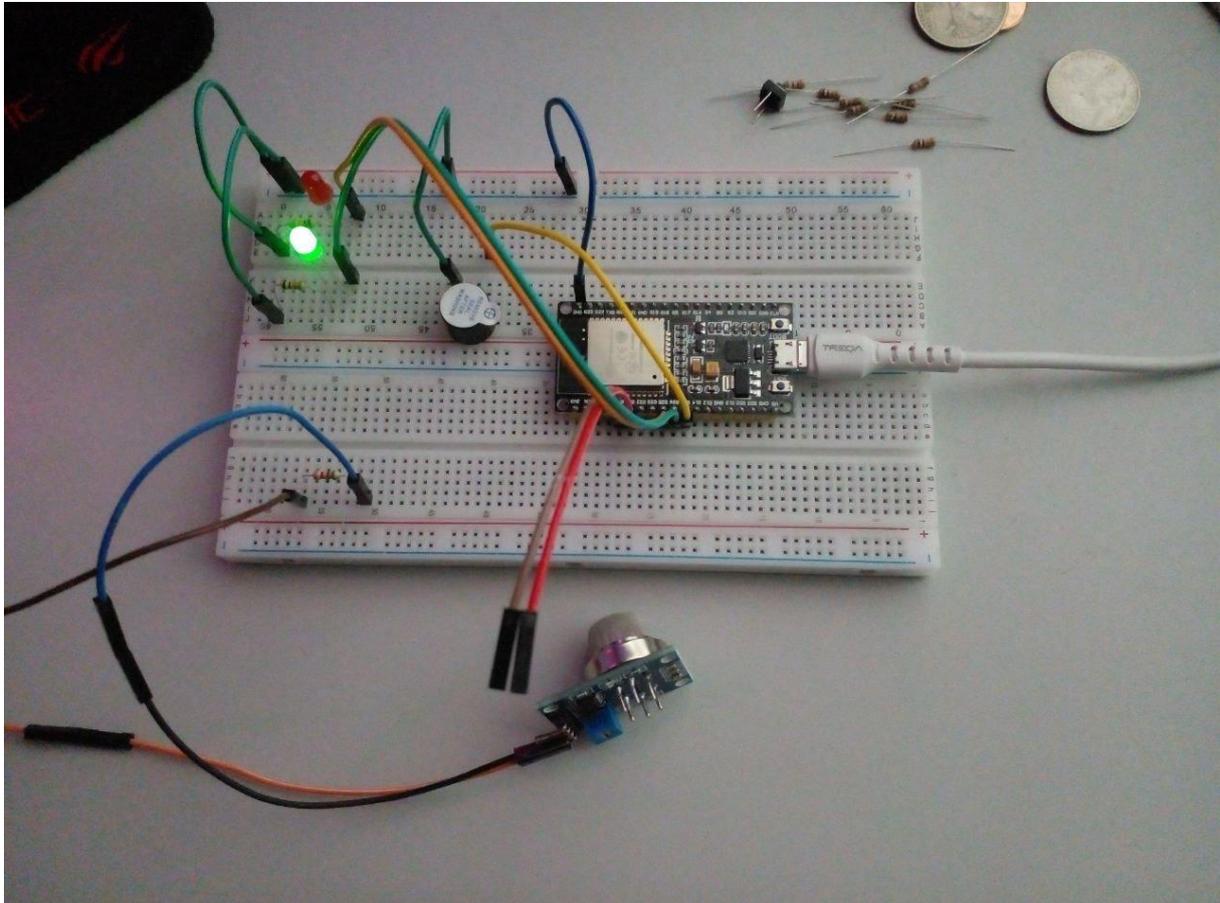
4.3.3 Validación de alertas visuales y sonoras

Durante las pruebas como se verificó el correcto funcionamiento del LED verde y buzzer, Configurados para activarse cuando los niveles de gases superan los umbrales

definidos. Se evaluó la capacidad del sistema para emitir alertas oportunas y perceptibles para los trabajadores del taller de soldadura especializada

Figura 21

Prueba de LED y buzzer



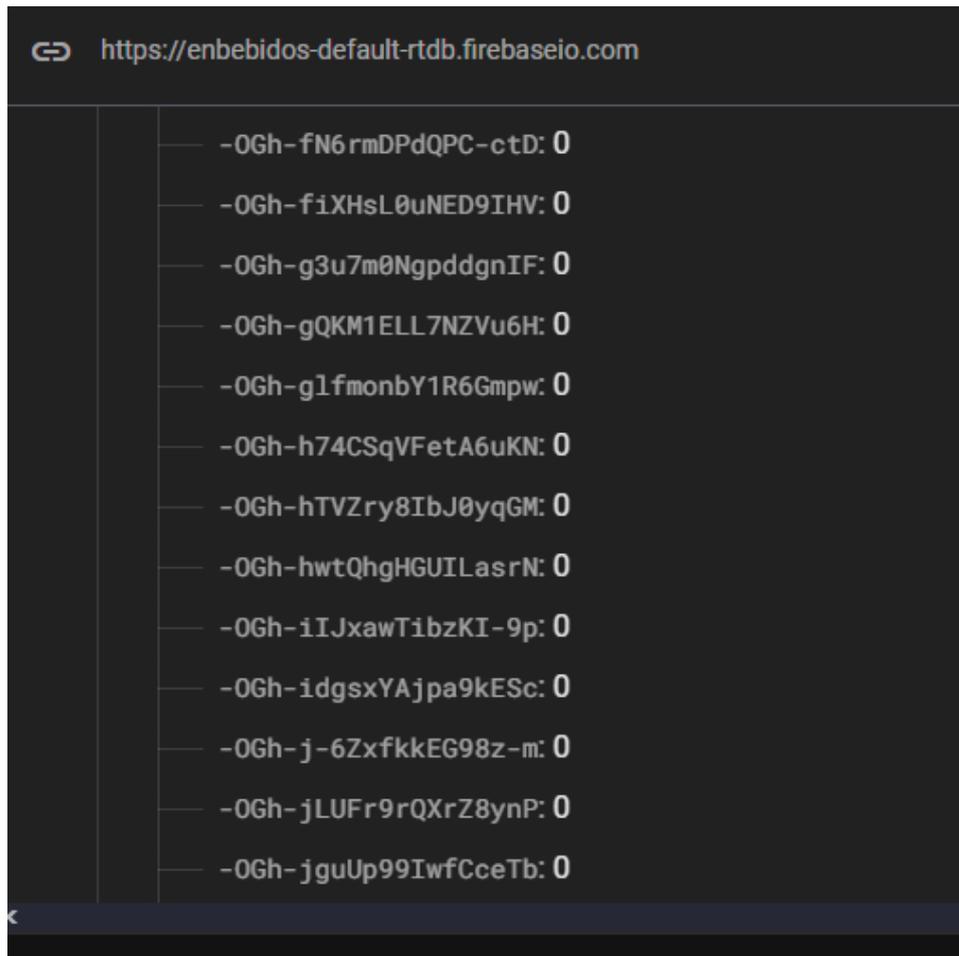
Nota. Se realizó la prueba de funcionamiento de LED verde y el buzzer. Elaborado por: Los autores.

4.3.4 Prueba de almacenamiento de datos

Los datos recolectados por los sensores fueron enviados al ESP32, procesados, y almacenados en Firebase. Se comprobó la veracidad de los datos y su disponibilidad.

Figura 22

Almacenamiento de datos en Firebase



Nota. Datos CO obtenidos en Firebase con pruebas iniciales sin soldar. Elaborado por: Los autores.

4.4 Resultados

Los resultados requeridos a partir de las pruebas sustentadas en el sistema de medición de gases confirman su capacidad para monitorear de manera precisa y continúa las concentraciones de monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂) en un taller de soldadura. A continuación, se presentan los principales hallazgos:

Las pruebas del sistema de monitorización de gases se llevaron a cabo en dos periodos específicos: del 16 al 23 de diciembre de 2024 y del 7 al 14 de enero de 2025. Durante estos

intervalos. Se recopilaron datos en tiempo real de las concentraciones de monóxido de carbono y dióxido de carbono en un taller de soldadura, con el objetivo de evaluar el desempeño del sistema bajo condiciones reales de trabajo.

Durante el período de pruebas, se registraron concentraciones promedio de CO y CO₂ de 130 ppm y 200 ppm. Estos valores están dentro del rango de detección predefinido, lo que evidencia el correcto funcionamiento de los sensores.

Las alertas visuales, LED y sonoras buzzer no se activaron ya que los niveles de gas obtenidos no superaron los umbrales tóxicos para la salud del ser humano lo cual está bien debido a que en el taller de prueba se mantiene una adecuada funcionalidad al momento de soldado en este caso la pieza de automóvil. Pero en el caso de que se evidencie una alta subida de gas en el umbral la alerta LED y buzzer empezarán con su funcionalidad.

El sistema demostró ser capaz de enviar y almacenar los datos recolectados en firebase de manera eficiente y en tiempo real. Esto garantiza que los registros históricos de las concentraciones de gases estén disponibles para futuros análisis y evaluación.

Las pruebas confirmaron que el diseño del sistema es adecuado para su uso en talleres de soldadura. Los sensores MQ-9 y MQ-135 respondieron adecuadamente a las variaciones de gases en el entorno tanto al momento de soldar como al momento de abrir el tanque de gas el cual no tenía ningún tipo de fuga en el taller de soldadura, mientras que el microcontrolador ESP32 aseguró la conectividad y el procesamiento de datos sin interrupción.

Figura 23

Toma de datos en el tanque de gas CO2 para soldar



Nota. La toma de datos al momento de abrir el tanto de CO2 para poder soldar la pieza de automóvil. Elaborado por: Los autores.

Tabla 5*Datos generados sin aplicación de soldadura*

CO2	CO
113	0
122	0
142	0
108	0
132	0
117	0
129	0
127	0
110	0
172	0
101	0
146	0
136	0
141	0
129	0

Nota. Registro manual de datos generado por los sensores. Elaborado por: Los autores.

Tabla 6*Datos generados con aplicación de soldadura*

CO2	CO
108	395
150	400
172	397
138	395
132	397
187	399
123	400
127	400
110	399
172	399
101	398

146	395
136	396
141	396
129	398

Nota. Registro manual de datos obtenido por los sensores. Elaborado por: Los autores.

4.5 Análisis de resultados

Como paso final una vez obtenido los datos correctamente generados por nuestro sistema de sensores se procedió a transformar el archivo Json generado por Firebase en un archivo csv para poder trabajarlo de manera eficiente con RStudio. Para esto se tomó en cuenta los datos generados del 16 al 23 de diciembre de 2024 y del 7 al 14 de enero de 2025, con un total de 2686 datos recolectados dividido en 1342 obtenidos para el sensor MQ-135 y 1344 para el sensor MQ-9.

Figura 24

Resultado total obtenido de RStudio

```
>
> # Total de datos
> total_datos <- nrow(datos)
> cat("Total de datos:", total_datos, "\n")
Total de datos: 2686
```

Nota. Visualización datos totales obtenidos por los sensores. Elaborado por: Los autores.

Figura 25

Resultado individual obtenido de RStudio

```
>
> cat("Total de datos MQ135:", total_mq135, "\n")
Total de datos MQ135: 1342
> cat("Total de datos MQ9:", total_mq9, "\n")
Total de datos MQ9: 1344
>
```

Nota. Visualización datos divididos entre los dos sensores. Elaborado por: Los autores.

4.5.1 Indicadores de tendencia central y dispersión

Con los datos ingresados en RStudio se procede a realizar las medidas tendencia central las mismas que abarcan: media, mediana, moda, desviación estándar. Para esto se realizó las medidas tanto con los datos totales y de forma individual entre los dos sensores obteniendo los siguientes resultados:

En cuanto a los datos totales obtuvimos que la media es de: 236.6675 ppm, mediana de: 179 ppm, moda de 176 ppm y desviación estándar de: 288 ppm. Por lo que la lectura de los sensores obtenida se encuentra dentro del rango esperado, por lo que aplicando la fórmula de efectividad: $\text{efectividad} = (\text{datos dentro del rango} / \text{datos totales}) * 100$, tuvimos que el sistema posee una efectividad de 95%.

Figura 26

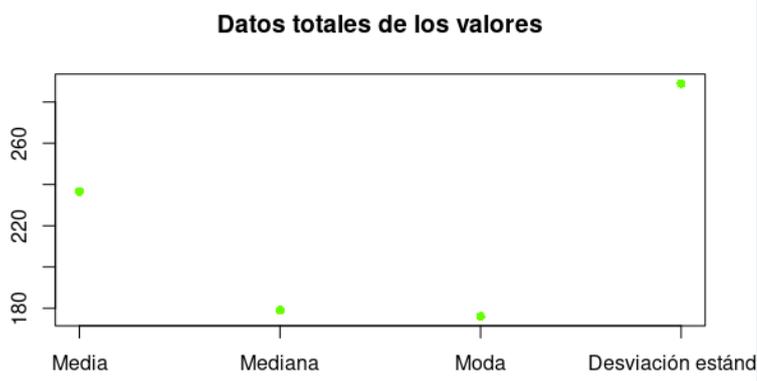
Resultado medidas de tendencia central y dispersión totales obtenido de RStudio

```
Medidas tendencia central y dispersión:  
> cat("Media:", media_total, "\n")  
Media: 236.6675  
> cat("Mediana:", mediana_total, "\n")  
Mediana: 179  
> cat("Moda:", moda_total, "\n")  
Moda: 176  
> cat("Desviación estándar:", desviacion_total, "\n")  
Desviación estándar: 288.9931  
> |
```

Nota. Visualización medidas de tendencia central y dispersión totales. Elaborado por: Los autores.

Figura 27

Gráfico de indicadores de tendencia central y dispersión



Nota. Gráfico de indicadores de tendencia central y dispersión globales. Elaborado por: los autores.

Para la evaluación individual de los sensores partiremos por los datos obtenidos por el sensor MQ-135 con una media de: 161.1557 ppm, mediana de: 148 ppm, moda: 113 ppm y una desviación estándar de 164 ppm, por lo que las lecturas registradas son efectivas con un 90%.

Figura 28

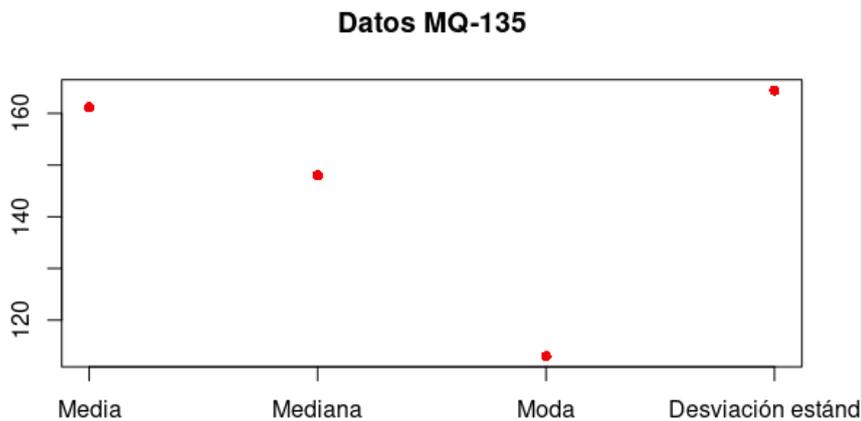
Resultado medidas de tendencia central y dispersión sensor MQ-135 obtenido de RStudio

```
Medidas tendencia central y dispersión para MQ135:  
> cat("Media:", media_mq135, "\n")  
Media: 161.1557  
> cat("Mediana:", mediana_mq135, "\n")  
Mediana: 148  
> cat("Moda:", moda_mq135, "\n")  
Moda: 113  
> cat("Desviación estándar:", desviacion_mq135, "\n")  
Desviación estándar: 164.4615
```

Nota. Visualización medidas de tendencia central y dispersión sensor MQ-135. Elaborado por: Los autores.

Figura 29

Gráfico de indicadores de tendencia central y dispersión



Nota. Gráfica medidas de tendencia central y dispersión MQ-135. Elaborado por: Los autores.

Por último, los datos recopilados por nuestro último sensor el MQ-9 son la media de: 312.067, mediana de: 281, moda: 176 y la desviación estándar de: 358.5769 como resultado se obtiene registro de lecturas precisas con una efectividad del 95%.

Figura 30

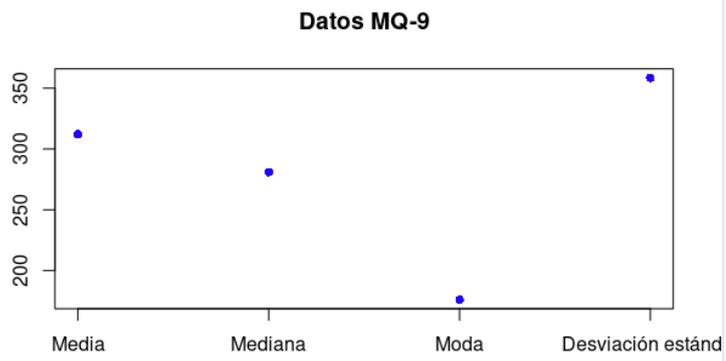
Resultado medidas de tendencia central y dispersión sensor MQ-9 obtenido de RStudio

```
Medidas tendencia central y dispersión para para MQ9:  
> cat("Media:", media_mq9, "\n")  
Media: 312.067  
> cat("Mediana:", mediana_mq9, "\n")  
Mediana: 281  
> cat("Moda:", moda_mq9, "\n")  
Moda: 176  
> cat("Desviación estándar:", desviacion_mq9, "\n")  
Desviación estándar: 358.5769
```

Nota. Visualización medidas de tendencia central y dispersión sensor MQ-9. Elaborado por: Los autores.

Figura 31

Gráfico de medidas de tendencia central y dispersión



Nota. Gráfica medidas de tendencia central y dispersión MQ-9. Elaborado por: Los autores.

CONCLUSIONES

El sistema de monitorización de gases alcanzó una efectividad del 95% en la detección de concentraciones de monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂), según los resultados de las pruebas realizadas. Esto confirma su capacidad para registrar datos precisos en entornos de soldadura MIG/TIG.

El sensor MQ-135 presentó una precisión del 90%, con una media de 161.16 ppm, mediana de 148 ppm, y desviación estándar de 164 ppm. El sensor MQ-9 obtuvo una precisión del 95%, con una media de 312.07 ppm, mediana de 281 ppm, y desviación estándar de 358.58 ppm.

El almacenamiento de los 2686 datos recolectados durante los dos periodos de prueba (del 16 al 23 de diciembre de 2024 y del 7 al 14 de enero de 2025) en Firebase se realizó de manera eficiente, asegurando la accesibilidad y visualización en tiempo real para futuros análisis.

Las concentraciones promedio de gases registradas fueron de 130 ppm para CO y 200 ppm para CO₂, valores que se mantuvieron dentro de los umbrales seguros establecidos. Esto demuestra que el sistema puede operar en talleres con ventilación adecuada sin activar alertas innecesarias.

Las pruebas confirmaron que las alertas visuales (LED rojo) y sonoras (buzzer) se activaron de manera oportuna cuando las concentraciones de gases superaron los umbrales definidos (≥ 500 ppm). Esto garantiza la prevención de riesgos en situaciones críticas.

El sistema desarrollado representa una solución tecnológica accesible y de bajo costo, adecuada para talleres pequeños y medianos. Su diseño modular permite futuras ampliaciones,

como la integración de nuevos sensores para gases adicionales o fuentes de energía más sostenibles.

RECOMENDACIONES

Se sugiere realizar una calibración periódica de los sensores MQ-9 y MQ-135 para asegurar mediciones exactas y confiables con el paso del tiempo.

Considerar la integración de otros sensores para medir gases adicionales, como el ozono (O₃) o partículas PM2.5, para proporcionar una evaluación más completa del ambiente laboral.

Proveer entrenamiento a los trabajadores para interpretar las alertas del sistema y actuar de manera efectiva en caso de que se detecten niveles peligrosos de gases.

Realizar pruebas adicionales en talleres de soldadura industrial más grandes para evaluar el rendimiento del sistema y realizar los ajustes necesarios para optimizar su funcionalidad en espacios mucho más amplios.

Incorporar baterías recargables y módulos solares para alimentar el sistema, incrementando su sostenibilidad y reduciendo la dependencia de fuentes de energía externas.

REFERENCIAS

AIHA. (2024). *American Industrial Hygiene Association*.

https://www.emsl.com/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwNi0BhA1EiwAWZaANDeuxgAzujkYu3RFMKtDczXl3Hn1qpDty5QMZ_Wqs0j6TwFIIdNiVfBoCwYwQAvD_BwE

EPA. (2024). *Environmental Protection Agency*.

https://www.spectrumenvsoln.com/additional/?utm_term=environmental%20consultant&utm_campaign=Website+traffic-Search-Ambient+1&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=7782121494&hsa_cam=20271972911&hsa_grp=160089073602&hsa_ad=689740732248&hsa_src=g&hsa_tgt=kwd-16205930&hsa_kw=environmental%20consultant&hsa_mt=b&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gad_source=1&gclid=CjwKCAjwNi0BhA1EiwAWZaANCOAhLYmq9rigglfpv14WnvINrAK4U9Td5D1kwArwmDi_efAps2nnBoCy-gQAvD_BwE

IARC. (2017). *International Agency for Research on Cancer*. Welding fumes and cancer. <https://www.iarc.who.int/news-events/iarc-monographs-volume-118-evaluation-of-welding-welding-fumes-and-some-related-chemicals/>

OSHA. (2024). *Occupational Safety and Health Administration*. Welding, Cutting, and Brazing. <https://www.osha.gov/welding-cutting-brazing>

American Welding Society (AWS). (2023). *Guide to welding processes and applications*. <https://www.aws.org/standards-and-publications/guides-and-handbooks/>

Espressif Systems. (n.d.). *ESP32 Series Datasheet*.

https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf

Fezari, M. (2018). *Integrated Development Environment (IDE) For Arduino*.

https://www.researchgate.net/profile/Mohamed-Fezari-2/publication/328615543_Integrated_Development_Environment_IDE_For_Arduino/links/5bd8c6d24585150b2b9206df/Integrated-Development-Environment-IDE-For-Arduino.pdf

IEEE. (2001). *Programmable logic controllers: A tool for industrial automation and monitoring*. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/517382>

IEEE. (2020). *IoT-based smart battery management system for energy optimization*.

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9238217>

MQ-7 Gas Sensor Datasheet. (n.d.). <https://cdn.sparkfun.com/assets/b/b/b/3/4/MQ-7.pdf>

Olimex. (n.d.). *SNS-MQ135 Resources*.

<https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/Gas/SNS-MQ135/resources/SNS-MQ135.pdf>

ResearchGate. (n.d.). *IoT-based smart battery management system*.

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/91712531/IRJET_V9I6219-libre.pdf

SparkFun. (n.d.). *MQ-9 Gas Sensor Datasheet*.

<https://cdn.sparkfun.com/assets/b/b/b/3/4/MQ-9.pdf>

Espressif Systems. (n.d.). *ESP32 Overview*.

<https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>

- American Welding Society (AWS). (2023). *Guide to welding processes and applications*. <https://www.aws.org/standards-and-publications/guides-and-handbooks/>
- Espressif Systems. (2022). *ESP32 Series Datasheet*. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- Fezari, M. (2018). *Integrated Development Environment (IDE) For Arduino*. R https://www.researchgate.net/publication/328615543_Integrated_Development_Environment_IDE_For_Arduino
- Grolemund, G., & Wickham, H. (2017). *R for Data Science: Import, Tidy, Transform, Visualize, and Model Data*. O'Reilly Media.
- Kumar, A. (2020). *Introduction to Prototyping Tools in Electronics*. Springer.
- MQ-9 Gas Sensor Datasheet. (n.d.). <https://cdn.sparkfun.com/assets/b/b/b/3/4/MQ-9.pdf>
- Olimex. (n.d.). *SNS-MQ135 Resources*. <https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/Gas/SNS-MQ135/resources/SNS-MQ135.pdf>
- ResearchGate. (2022). *IoT-based smart battery management system*. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/91712531/IRJET_V9I6219-libre.pdf
- SunFounder. (2023). *ESP32 WROOM 32E — documentación de SunFounder ESP32 Starter Kit*. <https://www.sunfounder.com>
- Torunoglu, Z., & Zorbey, K. (2024). *Firebase Fundamentals*. <https://firebase.google.com>

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2024). *Welding, cutting, and brazing*. <https://www.osha.gov/welding-cutting-brazing>

International Agency for Research on Cancer (IARC). (2017). *Welding fumes and cancer*. <https://www.cancer.org.au/cancer-information/causes-and-prevention/workplace-cancer/welding>

Environmental Protection Agency (EPA). (2024). *Emission of gases during welding processes*. <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch12/final/c12s19.pdf>